This is a digital copy of a book that was preserved for generations on library shelves before it was carefully scanned by Google as part of a project to make the world's books discoverable online.

It has survived long enough for the copyright to expire and the book to enter the public domain. A public domain book is one that was never subject to copyright or whose legal copyright term has expired. Whether a book is in the public domain may vary country to country. Public domain books are our gateways to the past, representing a wealth of history, culture and knowledge that's often difficult to discover.

Marks, notations and other marginalia present in the original volume will appear in this file - a reminder of this book's long journey from the publisher to a library and finally to you.

Usage guidelines

Google is proud to partner with libraries to digitize public domain materials and make them widely accessible. Public domain books belong to the public and we are merely their custodians. Nevertheless, this work is expensive, so in order to keep providing this resource, we have taken steps to prevent abuse by commercial parties, including placing technical restrictions on automated querying.

We also ask that you:

+ *Make non-commercial use of the files* We designed Google Book Search for use by individuals, and we request that you use these files for personal, non-commercial purposes.

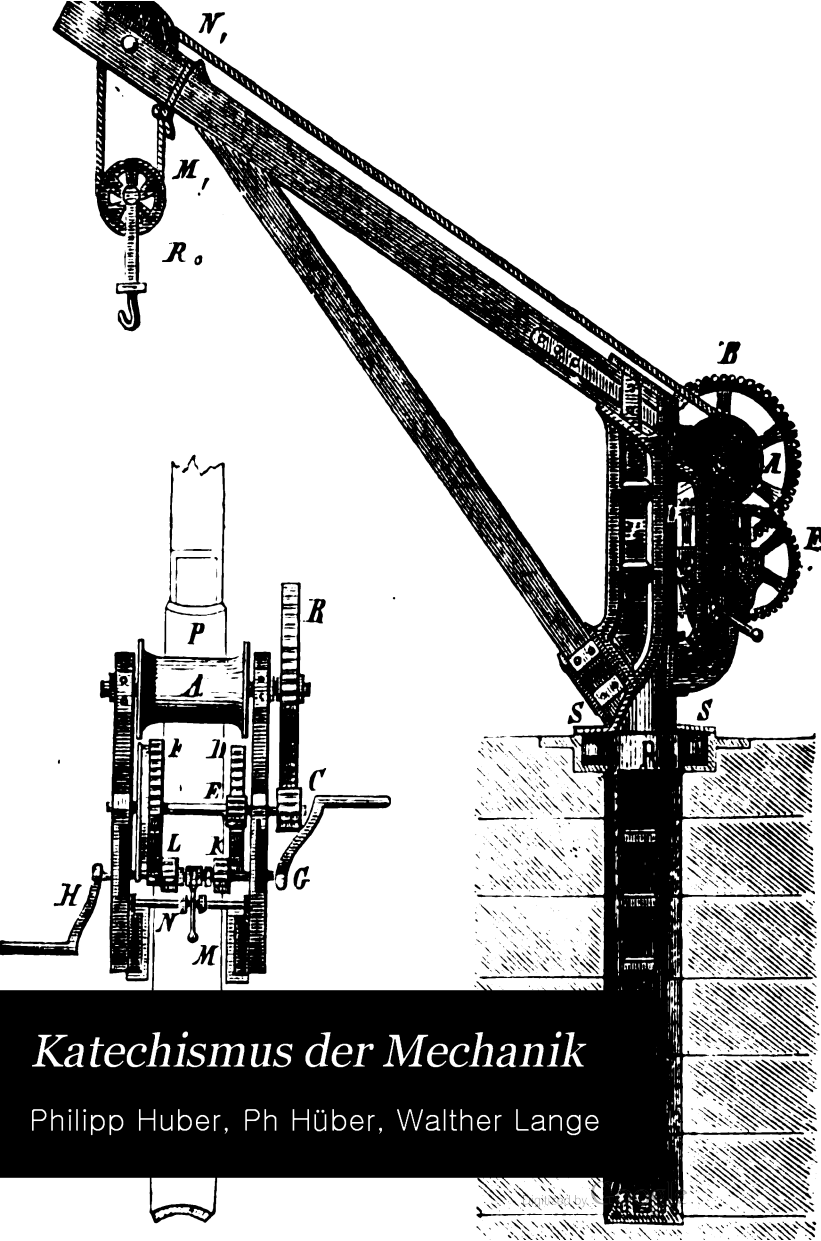
+ *Refrain from automated querying* Do not send automated queries of any sort to Google's system: If you are conducting research on machine translation, optical character recognition or other areas where access to a large amount of text is helpful, please contact us. We encourage the use of public domain materials for these purposes and may be able to help.

+ *Maintain attribution* The Google "watermark" you see on each file is essential for informing people about this project and helping them find additional materials through Google Book Search. Please do not remove it.

+ *Keep it legal* Whatever your use, remember that you are responsible for ensuring that what you are doing is legal. Do not assume that just because we believe a book is in the public domain for users in the United States, that the work is also in the public domain for users in other countries. Whether a book is still in copyright varies from country to country, and we can't offer guidance on whether any specific use of any specific book is allowed. Please do not assume that a book's appearance in Google Book Search means it can be used in any manner anywhere in the world. Copyright infringement liability can be quite severe.

About Google Book Search

Google's mission is to organize the world's information and to make it universally accessible and useful. Google Book Search helps readers discover the world's books while helping authors and publishers reach new audiences. You can search through the full text of this book on the web at `http://books.google.com/`



Katechismus der Mechanik

Philipp Huber, Ph Hüber, Walther Lange

Sc Physics

Katechismus der Mechanik.

Digitized by Google

LIBRARY
OF THE
UNIVERSITY
OF
CALIFORNIA

Digitized by Google

Katechismus

der

Mechanik.

Von

Ph. Huber,
Rector der Gewerbeschule in Pforzheim.

Zweite, vermehrte Auflage.

Mit 152 in den Text gedruckten Abbildungen.

Leipzig
Verlagsbuchhandlung von J. J. Weber
1879

Digitized by Google

Digitized by Google

TA350
H8
1879

Vorwort.

Der Verfasser hat sich bemüht, die Grundlehren der Mechanik und zwar sowohl der theoretischen, als auch der praktischen, in populärer, allgemein verständlicher Weise vorzutragen. Das vorliegende Werkchen behandelt darum die eigentlichen Lehrsätze der Mechanik nebst deren Anwendung auf die einfachen und zusammengesetzten Maschinen, als: Hebelverbindungen, Rollen- und Flaschenzüge, die verschiedenen Arten von Waagen, Räderwerken, Winden, Haspeln und Krahnen, Keil- und Schraubenpressen ꝛc., so wie auch die Wasserräder, Turbinen und Wasserdruckmotoren, die hydraulischen Pressen, die Pumpwerke und Gebläse, Feuerspritzen, Dampfmaschinen, Heißluft- und Gaskraftmaschinen. Obgleich überall, wo es anging, die erforderlichen Berechnungen eingeflochten sind, so wurde dabei doch der elementare Standpunkt streng eingehalten, so daß zum Verständniß nicht mehr als die Geläufigkeit im gewöhnlichen elementaren Rechnen vorausgesetzt ist. Damit aber auch derjenige Leser, dem die ersten Sätze der Geometrie, das Quadratwurzelausziehen und ähnliche einfache mathematische

M333382 Digitized by Google

Operationen bekannt sind, bei der Lectüre dieser Schrift seine Befriedigung finde, sind in einzelnen Kapiteln leichtverständliche Formeln für die vorkommenden Berechnungen in Noten neben dem Haupttext beigefügt worden.

Den Berechnungen selbst ist überall das neue metrische Maß zu Grunde gelegt.

Die Figuren sind meistentheils der von dem Unterzeichneten verfaßten „Mechanik für Gewerbeschulen und zum Selbstunterrichte", vierte Auflage, Stuttgart bei J. Engelhorn, entnommen, in welchem Werke der Leser, insofern er darnach verlangt, eine weitergehende Belehrung findet.

Die vorliegende zweite Auflage hat insofern eine Vervollständigung erhalten, als eine eingehendere Beschreibung der sogenannten Kleinkraftmaschinen, als: der Wasserdruckmotoren, Heißluft-, Gas- und Petroleummotoren aufgenommen worden ist und als neue Pumpenconstructionen und Dampfsteuerungen, sowie auch neuere Anordnungen der Dampfmaschinen beigefügt worden sind.

Auch ist mehr auf eigentliche „Berechnungen" eingegangen worden, als in der ersten Auflage, und sind zu dem Zwecke weitere leichtverständliche Berechnungsformeln und Beispiele zugesetzt worden.

Aus letzterem Grunde dürfte sich das Werkchen nun auch als Leitfaden für solche gewerbliche Fortbildungsschulen eignen, an welchen für den Unterricht in der Mechanik nur eine beschränkte Zeit bestimmt ist.

Pforzheim, im Juni 1879.

Ph. Huber.

Digitized by Google

Inhaltsverzeichniß.

Einleitung.

Seite

Begriff der Mechanik, Gleichgewicht, Kraft 3

Erstes Kapitel.

Von den Bewegungsarten und Bewegungsgesetzen . 5

Entstehung der verschiedenen Bewegungsarten, Geschwindigkeit, Weg 6

Fallbewegung 9

Zweites Kapitel.

Von den Kräften, deren Maß und Wirkungsgröße . 10

Messen der Kräfte 11

Arbeit einer Kraft 14

Pferdekraft (Pferdestärke) und sogenannte lebendige Kraft 16

Drittes Kapitel.

Von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte und den von diesen erzeugten Bewegungen . . . 17

Parallelogramm der Kräfte 19

Parallel wirkende Kräfte 23

Kraftzerlegung 24

Statisches Moment 27

Wurfbewegung 29

Digitized by Google

Seite

Centralbewegung und Centrifugalkraft 31
Bewegung auf der schiefen Ebene 33
Pendel und Pendelbewegung. Secundenpendel. Compensationspendel 34

Viertes Kapitel.

Vom Schwerpunkt 37

Bestimmung desselben bei Linien, Flächen und Körpern . 38
Stabilität 39

Fünftes Kapitel.

Von den Bewegungswiderständen 39

Reibungsarten und Reibungsgröße 40
Seilsteifigkeit 43
Widerstand der Luft (bei Eisenbahnzügen) und des Wassers 43

Sechstes Kapitel.

Von der Festigkeit der Körper 45

Festigkeit gegen das Zerreißen und Zerdrücken 45
Festigkeit gegen das Abbrechen 47
Stärkster Balken 48
Drehungs- und Abscheerungsfestigkeit 49

Siebentes Kapitel.

Von den einfachen Maschinen oder Maschinenelementen 50

Grundgesetz über die Wirksamkeit einer jeden Maschine . 51
Hebel und Hebelgesetze 52
Wellrad; verschiedene Arten desselben 56
Rolle 60
Schiefe Ebene. Zugkraft auf Straßen und Eisenbahnen 62
Keil 65
Schraube 67

Achtes Kapitel.

Von der Anwendung und Verbindung der Maschinenelemente zu zusammengesetzten Maschinen 71

Hebelverbindungen 72
Die Waagen 73

Digitized by Google

Seite
Differentialwelle 79
Die Räderwerke 80
Winden, Haspeln und Krahnen 86
Rollen- und Flaschenzüge 89
Endlose Schrauben, Schraubenwinden und Differentialschrauben 92
Keilpresse 96

Neuntes Kapitel.

Von dem Druck und der Bewegung des Wassers, sowie anderer tropfbarer Flüssigkeiten, und von den Anwendungen derselben 97

a. Vom Wasserdruck 97
Communicirende Röhren 102
Hydraulische Presse 104

b. Von der Bewegung des Wassers 107
Ausflußmenge. Contraction 107
Durchflußmenge in Flüssen ꝛc. 108

c. Die Wasserräder und sonstigen Wasserdruckmotoren 109
Arten der Wasserräder 110
Wasserdruckmotoren 122

Zehntes Kapitel.

Vom Luftdruck und dessen Anwendung 124

a. Größe des Luftdrucks 124
Veränderter Druck. Mariotte'sches Gesetz 126
Manometer zum Messen höherer Spannungen . . 126

b. Anwendungen des Luftdrucks 128
Die verschiedenen Pumpenarten 129
Die Gebläse 141
Die Feuerspritze 141
Größe der durch Pumpen und Feuerspritzen geförderten Wassermenge 143
Größe der nöthigen Triebkraft. 144
Saughöhe 145

Digitized by Google

Elftes Kapitel.

Seite

Von der Dampfkraft und den Dampfmaschinen. Die Heißluft- und Gaskraftmaschinen 146

Druck (Spannung) des Dampfes 147
Dichtigkeit, Gewicht des Dampfes 149
Nöthige Wärmemenge (Brennmaterial) 151
Dampfmaschine. Bestandtheile 152
Erste Versuche 152
Watt's Verbesserungen. Condensation. Selbststeuerung. Die verschiedenen Steuerungsvorrichtungen (Dampfschieber und Ventile) 154
Manometer und Sicherheitsventile 161
Systeme von Dampfmaschinen. — Expansion des Dampfes 164
Beschreibung einer Niederdruckmaschine 166
„ „ Hochdruckmaschine (Locomotive) . . 170
Neuere Anordnungen der Dampfmaschinen (Liegende Maschinen 2c.) 175
Berechnung der Wirkungsgröße der Dampfmaschinen . 176
Heißluft- und Gasmaschinen. Petroleum-Motoren . . 179

Digitized by Google

Katechismus der Mechanik.

Digitized by Google

Digitized by Google

Einleitung.

1. Was versteht man unter der Mechanik als Wissenschaft?

Die Mechanik ist die Lehre vom Gleichgewichte und der Bewegung, in welche Körper gelangen können. Dieselbe handelt also von den Gesetzen, unter welchen Gleichgewicht besteht, oder Bewegung eintritt, so wie von Alledem, was hierauf Einfluß hat. Demnach muß die Mechanik nothwendig von den Kräften handeln, welche Bewegung hervorbringen; ferner muß sie auch die Widerstände oder die Hindernisse, welche bei jeder Bewegung zu überwinden sind, so wie die, eine gewünschte Bewegung ermöglichenden Vorrichtungen oder Maschinen besprechen. Endlich zieht sie in den Kreis ihrer Betrachtungen auch die Bedingungen, unter welchen Körper den auf sie einwirkenden bewegenden Kräften zu widerstehen vermögen; sie bespricht also auch die Widerstandsfähigkeit oder Festigkeit der in der Technik verwendeten Materialien.

2. Was versteht man unter dem Gleichgewicht?

Der Gleichgewichtszustand besteht an einem Körper dann, wenn zwei oder mehr Kräfte, welche den Körper in verschiedener — entgegengesetzter — Richtung zu bewegen suchen, sich aufheben, so daß keine Bewegung, oder, wenn der Körper vorher schon in Bewegung war, durch Einwirkung jener Kräfte keinerlei Bewegungsänderung eintritt.

Digitized by Google

Damit Gleichgewicht stattfindet, ist nicht nothwendig, daß die beiderseitigen Kräfte gleich sind; dagegen müssen die Wirkungen der Kräfte gleichgroß sein. Die Wirkung oder Leistung einer Kraft hängt aber nicht blos von der Größe an sich allein, sondern auch von den Umständen ab, unter welchen die Kraft wirkt.

3. Was versteht man unter Kraft?

Kraft ist die Ursache jeder Bewegung oder Bewegungsänderung.

Soll ein ruhender Körper in Bewegung gelangen, oder ein bereits in Bewegung befindlicher eine andere Bewegung, als die ursprüngliche, annehmen, so muß Etwas auf ihn einwirken. Dieses Etwas nennt man Kraft.

Ohne diese Einwirkung beharrt der Körper in dem Zustande, in welchem er sich vor der Einwirkung befand. Er bleibt in Ruhe, wenn er vorher in derselben war; er beharrt aber auch in einer ihm mitgetheilten Bewegung so lange, bis äußere Einflüsse diese Bewegung stören oder ganz aufheben.

Beispiele des Beharrens in der Bewegung: Eine geworfene Kegelkugel, ein Schwungrad, jede in Gang befindliche Maschine, Eisenbahnzüge ꝛc., die Himmelskörper.

Digitized by Google

Erstes Kapitel.

Von den Bewegungsarten und Bewegungsgesetzen.

4. Welche Bewegungsarten unterscheidet man?

Es giebt eine gleichförmige, eine beschleunigte und eine verzögerte Bewegung. — Der Richtung nach unterscheidet man auch gerad- und krummlinige Bewegungen.

Gleichförmig ist eine Bewegung, wenn der betreffende Körper in aufeinanderfolgenden gleichen Zeiten auch gleichgroße Wege zurücklegt. Nimmt die Raschheit der Bewegung zu, so nennt man solche beschleunigt, und nimmt dieselbe ab, so ist sie eine verzögerte Bewegung.

Der Zeiger an einer Uhr macht eine gleichförmige, ein fallender Stein eine beschleunigte und ein in die Höhe geschleuderter Körper eine verzögerte Bewegung.

5. Wie müssen die Kraftwirkungen sein, damit die genannten verschiedenen Bewegungen erfolgen?

Soll ein Körper in gleichförmige Bewegung gelangen, so ist, wenn keine Bewegungshindernisse vorhanden sind (wie im leeren Weltraum) nur eine einmalige Kraftwirkung, ein bloßer Anstoß, nothwendig. Sind aber Bewegungswiderstände da, so verlangt es eine andauernd wirkende oder beständige Kraft, welche so groß sein muß, daß sie gerade genügt, um diese Hindernisse zu überwinden.

Digitized by Google

Wirkt eine Kraft beständig auf einen Körper ein, und es sind keine Hindernisse vorhanden oder aber diese sind kleiner, als die Kraft selbst, so entsteht die beschleunigte Bewegung.

Die verzögerte Bewegung endlich tritt immer in Folge von Widerständen ein und zwar, wenn ein in Bewegung gesetzter Körper sich selbst überlassen ist und Widerstände zu überwinden sind, oder wenn die allenfalls einwirkenden bewegenden Kräfte geringer sind, als die widerstehenden.

6. Was nennt man die Geschwindigkeit eines bewegten Körpers?

Man versteht darunter den Weg, welchen ein Körper in der Zeiteinheit, der Secunde, zurücklegt. Sagt man also, die mittlere Geschwindigkeit eines Fußgängers sei $1\frac{1}{2}$ Meter, so ist damit ausgedrückt, daß derselbe in jeder Secunde einen Weg von $1\frac{1}{2}$ Meter, also in der Minute einen solchen von 90 und in der Stunde einen solchen von 60 mal 90 = 5400 Meter zurücklegt.

Weg und Geschwindigkeit werden meistens nur in Meter oder Fuß angegeben.

Oft giebt man die Raschheit der Bewegung auch in anderer Weise an; so zählt man bei einem Rad die Zahl der Umdrehungen (Touren) per Minute, oder bei Pumpen und Dampfmaschinen die Zahl der Kolbenhübe ebenfalls per Minute.

7. Wie findet man den bei gleichförmiger Bewegung zurückgelegten Weg, und umgekehrt, wie ergeben sich die für einen bestimmten zurückzulegenden Weg nöthige Zeit und Geschwindigkeit?

Es ist natürlich, daß, wenn z. B. ein Eisenbahnzug eine mittlere Geschwindigkeit von 12 Meter hat, d. h. wenn er jede Secunde 12 Meter weit kommt, er in 10 Secunden 10 mal 12 = 120 Meter und in einer Stunde 60 mal 60 mal 12 = 43200 Meter = 43,2 Kilometer oder $\frac{43200}{7420} = 5{,}8$ deutsche Meilen zurücklegt. (7420 Meter sind gleich einer Meile.)

Digitized by Google

Um also den zurückgelegten Weg zu erhalten, muß man die Zahl der Secunden mit der Geschwindigkeit multipliciren.

Hieraus ergiebt sich von selbst, daß, wenn bei gegebenem Weg und Geschwindigkeit die zur Zurücklegung erforderliche Zeit berechnet werden soll, man den Weg durch die Geschwindigkeit dividiren muß.

Desgleichen erhält man durch Division des Weges durch die Zeit (Secunden) die nöthige Geschwindigkeit.

Fragt man also, welche Zeit z. B. ein englisches Rennpferd bei einer Geschwindigkeit von 20 Meter braucht, um eine Viertelmeile (1855 Meter) zurückzulegen, so findet man die Zahl der

$$\text{Secunden} = \frac{1855}{20} = 92^3/_4 \text{ Secunden} = 1 \text{ Minute } 32^3/_4$$

Secunden.

Oder wollte man wissen, welche durchschnittliche Geschwindigkeit ein Bahnzug bei einer Eilfahrt eingehalten hat, welcher in 1 Stunde 10 Minuten und 40 Secunden d. i. in 4840 Secunden 12 Meilen zurücklegte, so ergiebt sich solche $= \frac{12.7420}{4840} = 18{,}4$ Meter.

Bezeichnet man den Weg mit s, die Geschwindigkeit mit v und die Zeit mit t, so ist $s = v.t$,

$$v = \frac{s}{t}$$

$$\text{und } t = \frac{s}{v}.$$

8. Was versteht man unter der Geschwindigkeit eines in beschleunigter oder verzögerter Bewegung begriffenen Körpers?

Diese Geschwindigkeit ändert sich natürlicherweise jeden Augenblick. Man versteht aber unter der Geschwindigkeit in irgend einem Momente denjenigen Weg, welchen der betreffende Körper in einer Secunde durchlaufen würde, wenn er von jenem Augenblicke an sich gleichförmig fortbewegen würde.

9. Wie erhält man die Größe des Weges, welcher bei beschleunigter Bewegung zurückgelegt wird?

Betrachten wir das nächste und sprechendste Beispiel einer beschleunigten Bewegung, nämlich das Fallen der Körper nach

Digitized by Google

der Erde, so läßt sich durch die Fallmaschine und andere Vorrichtungen beobachten, daß ein jeder in leerem Raum fallender Körper in der ersten Secunde des Fallens eine Geschwindigkeit von 9,81 oder rund 10 Meter erhalten hat*).

Nach 2 Secunden hat der Körper aber, wegen der beständig wirkenden Ursache des Falles — der Anziehungs- oder Schwerkraft der Erde — den nämlichen Zuwachs an Geschwindigkeit erhalten, wie in der ersten; seine Geschwindigkeit ist also nach 2 Secunden = 2 mal 10 Meter und eben so nach 3 Secunden = 3 mal 10 Meter u. s. w.

Fiele also ein Körper 20 Secunden lang, so hätte er eine Geschwindigkeit von 200 Meter erreicht.

Der Weg, welchen der Körper in diesen 20 Secunden durchlaufen hat, kann aber nicht 20 mal 200 Meter betragen; denn so groß wäre der durchlaufene Fallraum, wenn der Körper vom ersten Augenblick des Fallens an schon die nämliche Geschwindigkeit gehabt hätte, wie am Ende seiner Fallzeit.

Bewegt sich aber ein Körper so, daß seine anfängliche Geschwindigkeit = 0, und am Ende der Fallzeit = 200 Meter ist, so kommt er sicherlich so weit, als wenn er vom ersten Augenblicke an mit der mittleren Geschwindigkeit, welche in dem angenommenen Beispiel 100 Meter beträgt, sich gleichförmig fortbewegt hätte.

Der fragliche Körper würde also in 20 Secunden einen Weg von 20 mal $\frac{200}{2}$ = 2000 Meter durchlaufen.

Um also den bei beschleunigter Bewegung zurückgelegten Weg zu erhalten, multiplicirt man die Zeit mit der mittleren Geschwindigkeit des Körpers.

---

*) Dieser Werth der sog. Fallbeschleunigung ist eigentlich nur genau für die geographischen Breiten von Paris, London, Königsberg ꝛc. Derselbe wird aber in den Lehrbüchern bei uns überall angenommen. Die Größe der Fallbeschleunigung richtet sich aber nach der Größe der Anziehungskraft der Erde, und diese nimmt bekanntlich ab, je weiter man sich vom Mittelpunkt entfernt.

Digitized by Google

Der Fallraum eines Körpers oder überhaupt der bei beschleunigter Bewegung durchlaufene Weg kann auch noch in anderer Weise bestimmt werden.

Aus den genannten Gründen fällt ein Körper, der vorher in Ruhe war, im leeren Raume oder wenn die Luft kein namhaftes Hinderniß verursacht, wie bei ziemlich schweren Körpern der Fall ist, in der ersten Secunde genau so weit, als wenn er mit einer Geschwindigkeit, welche das Mittel seiner Anfangs- und Endgeschwindigkeit, also von 0 und 10 Meter, d. i. 5 Meter ist, sich gleichförmig bewegt hätte. Ein Körper aber, der sich eine Secunde lang mit einer Geschwindigkeit von 5 Meter gleichförmig fortbewegt, durchläuft natürlich einen Raum von 5 Meter Länge.

Somit ist der Fallraum in einer Secunde = 5 Meter, oder genau $= \frac{9{,}81}{2} = 4{,}955$ Meter.

In 2 Secunden gelangt aber der Körper viermal so weit; denn er bewegt sich nicht blos während einer doppelten Zeit, sondern seine Geschwindigkeit ist nach 2 Secunden auch, wie man gesehen hat, dann die doppelte; dessen Weg ist also in 2 Secunden 2 mal 2 = viermal größer. Eben so ist der Weg in der dreifachen Zeit und bei dreifacher Geschwindigkeit = 3 mal 3 oder neunmal größer, als in der ersten Secunde.

Die Fallräume für verschiedene Zeiten stellen sich also so dar:

In	1	Secunde	fällt	ein	Körper	5	Meter	weit;		
„	2	„	„	„	„	4.5	„	=	20	Meter weit;
„	3	„	„	„	„	9.5	„	=	45	„ „
„	4	„	„	„	„	16.5	„	=	80	„ „
„	5	„	„	„	„	25.5	„	=	125	„ „
„	20	„	„	„	„	400.5	„	=	2000	„ „
						u. s. w.		u. s. w.		

Die Fallräume wachsen also mit den Quadratzahlen der Zeit.

Digitized by Google

Die Endgeschwindigkeiten eines freifallenden Körpers wären aber nach 1 Secunde = 10 Meter.

„ 2 „ = 2.10 „

„ 3 „ = 3.10 „ u. s. w.

10. Wie bestimmt man den bei verzögerter Bewegung zurückgelegten Weg?

Ganz wie bei der beschleunigten Bewegung. Da bei einer eintretenden Verzögerung die Geschwindigkeit stetig abnimmt, so bestimmt man auch wieder das Mittel der am Anfange und Ende der Bewegung vorhandenen Geschwindigkeiten und multiplicirt mit dieser mittlern Geschwindigkeit die Zeit.

Wie beim Fallen eines Körpers eine beschleunigte Bewegung stattfindet, so tritt beim Steigen eines abgeworfenen Körpers vom ersten Augenblick an eine verzögerte Bewegung ein, und wie dort die Geschwindigkeit in jeder Secunde um 10 Meter wächst, so muß solche aus der gleichen Ursache bei einem senkrecht in die Höhe steigenden Körper in jeder Secunde um 10 Meter abnehmen.

Daraus ergiebt sich, daß in gleichem Maße, wie beim Fallen die Geschwindigkeit wächst, dieselbe beim Steigen abnimmt. Darum auch würde im leeren Raum ein senkrecht abgeworfener Körper, welcher 12 Secunden ausbleibt, genau 6 Secunden steigen und 6 Secunden fallen und also nach Vorigem eine Höhe von 6.6.5 = 180 Meter erreichen (oder durchfallen).

Zweites Kapitel.

Von den Kräften, deren Maß und Wirkungsgröße.

11. Welche Kräfte sind es vorzugsweise, welche als Beweger (Motoren) in technischer Beziehung Anwendung finden?

Es ist dies zunächst die Schwer- oder Anziehungskraft der Erde. Dieselbe wirkt dort, wo Wasser als Triebkraft angewendet

Digitized by Google

wird, also bei den Wasserrädern; ferner bei den durch Gewichte getriebenen Uhren.

Eine sehr bedeutsame und vielfach zur Anwendung gelangende Kraft ist sodann die Expansions- oder Expansivkraft gewisser Körper, namentlich der Gase und Dämpfe, welche in der bedeutenden Elasticität oder dem Ausdehnungsbestreben dieser Materien ihren Grund hat. — Angewendet sehen wir diese Kraft bei den Geschützen, im Windkessel der Pumpen und Feuerspritzen, bei den Dampfmaschinen, Gas- und Heißluftmaschinen 2c.; ferner bei Stahlfedern als Triebkraft der Uhren 2c., beim Kautschuk u. s. w.

Den bewegenden Kräften sind dann noch beizuzählen: die Muskel-, menschliche und thierische (animalische) Kraft; ferner die elektrischen und magnetischen Kräfte (Elektromotoren), deren Wirkung in der Telegraphie, bei den elektrischen Uhren 2c. zur Geltung kommt.

12. Wie bestimmt man die Größe einer Kraft, oder wie mißt man dieselbe?

Um diese Frage zu beantworten, hat man sich nur klar vorzustellen, was durch irgend eine Kraftwirkung hervorgebracht wird oder hervorgebracht werden kann.

Nun ist aber gewiß, daß, wo eine Kraft wirksam ist, diese entweder einen gewissen Druck oder einen Zug, eine Bewegung, hervorbringt.

Ein Druck oder ein Zug von bestimmter Stärke kann aber stets durch ein richtig gewähltes und in der entsprechenden Weise angebrachtes Gewicht ausgeübt werden.

Darum auch sind die Gewichte die einfachsten und gewöhnlichen Mittel zum Messen der Kräfte.

Wenn man also die Größe einer Kraft ausdrücken will, so spricht man von einer Kraft von 60 k oder 120 Pfund, 100 k, 200 k u. s. w.

Digitized by Google

13. Was versteht man aber eigentlich unter einer Kraft von 60 k?

Man versteht darunter eine Kraft, welche im Stande wäre, unmittelbar und ohne besondere Vorkehrungen eine 60 k schwere Last senkrecht in die Höhe zu ziehen. Nur in dem Fall, daß man irgend ein Gewicht senkrecht vom Boden aufheben will, braucht man nämlich eine Kraft, welche einen Zug auszuüben vermag, welcher gerade so groß ist, als der abwärts gerichtete Zug eben dieses Gewichtes.

Wollte man dagegen einen Körper auf einer horizontalen Bahn vorwärts ziehen, so genügte, wenn diese Bahn vollkommen glatt wäre und keinerlei Hindernisse (Reibung ꝛc.) böte, die geringste Kraft, um die größten Lasten zu bewegen; bei vorhandenen Rauhigkeiten aber müßte die Kraft um so größer sein, je rauher die Bahn wäre. Bei einer Bewegung auf einer geneigten Bahn (schiefen Ebene) erforderte es ferner zum Aufwärtsbewegen eine um so geringere Kraft, je geringer die Neigung oder die Steilheit der Bahn wäre.

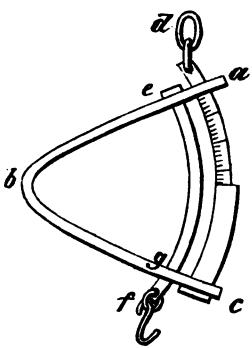


Fig. 1.

So kann z. B. ein Pferd auf einer mittelguten horizontalen Straße mit gewöhnlicher Anstrengung wohl 30 Centner, auf einer sehr gut erhaltenen Straße 50 und auf einer Eisenbahn 200 und noch mehr Centner, die sich auf einem Wagen befinden, fortziehen.

14. Giebt es ein Instrument, mit welchem man die Kräfte messen kann?

Ja; es ist dies der sogenannte Kraftmesser oder das Dynamometer. Ein solches Instrument zeigt Fig. 1. Es ist dies eine starke Stahlfeder a b c. Bei c ist das gebogene Stück c d befestigt, das bei a durch einen Schlitz der Feder hindurchgeht; dieses Stück trägt eine Scala. Ein zweites Stück

Digitized by Google

ef ist bei e befestigt und geht bei g durch eine schlitzartige Oeffnung. Wird nun die Feder in d festgehalten und in f wirkt irgend eine Kraft, ein Zug, so ist klar, daß die Feder um so stärker zusammengezogen wird, je größer die Kraft ist. An der Zahl der oberhalb a hervortretenden Theilstriche der Scala kann dann die Größe der Kraft abgelesen werden.

Die Eintheilung der Scala erhält man, indem man bei f Gewichte aufhängt und darnach den Stand der Feder bezeichnet.

Will man die Zugkraft eines Pferdes ꝛc. messen, so bringt man, wie Fig. 2 zeigt, das Dynamometer an die Zugstricke des Pferdes.

15. In welchem Verhältnisse stehen die Kräfte mit den Größen der bewegten Massen und den ertheilten Geschwindigkeiten?

Soll eine Kraft eine doppelte oder dreifache ꝛc. Masse (doppeltes oder dreifaches Gewicht) in der gleichen Zeit in die nämliche Geschwindigkeit versetzen, wie die einfache Masse, so erfordert es die doppelte oder dreifache ꝛc. Kraft.

Fig. 2.

Eben so braucht man, um der nämlichen Masse die doppelte oder dreifache Geschwindigkeit mitzutheilen, die doppelte oder dreifache Kraft.

Um aber der doppelten Masse auch eine doppelte Geschwindigkeit zu ertheilen, erfordert es eine 2×2 (d. h. 2.2) oder vierfache Kraft, und um eine doppelte Masse mit dreifacher Geschwindigkeit zu bewegen, wäre eine 2×3 oder sechsfache Kraft nöthig.

16. Ist die Leistung oder Wirkungsgröße einer Kraft durch die Größe derselben, d. h. durch den von ihr ausgeübten Zug einzig und allein ausgedrückt?

Nein, es ist noch ein zweiter Umstand maßgebend, nämlich die Geschwindigkeit, mit welcher ein zu besiegender Widerstand

Digitized by Google

überwunden wird, oder der Weg, auf welchem die Kraft in einer bestimmten Zeit thätig ist. Denn offenbar leistet ein Pferd mehr, oder übt eine größere Wirkung aus, wenn es die gleiche Last zieht, als ein anderes, dabei aber sich viel rascher bewegt, und gewiß leistet es doppelt so viel, wenn es diese Last auf einem doppelt so langen Weg bewegt. So ist es überall; soll ein Sägenschnitt bei gleicher Tiefe von doppelter Länge gemacht werden, so erfordert das jedenfalls eine doppelte Arbeit.

Es folgt also hieraus, daß die Wirkungsgröße einer Kraft ebensowohl von der Größe der Kraft, als auch von der Größe des während der Wirkung zurückgelegten Weges abhängt.

Wie also eine 2, 3 ꝛc.-fache Kraft eine 2, 3 ꝛc.-fache Wirkung ausüben kann, wenn alle anderen Umstände gleich sind, so übt eine und dieselbe Kraft eine 2, 3 ꝛc.-fache Wirkung aus, wenn sie auf einem 2, 3 ꝛc. mal größern Wege thätig ist.

Eine zweimal größere Kraft vermag aber, wenn sie auf dem dreifachen Wege thätig ist, das 2×3 oder Sechsfache zu wirken.

17. In welcher Weise drückt man also die eigentliche Wirkung oder Arbeit einer Kraft aus?

Wenn man die Leistung oder die sogenannte mechanische Arbeit, welche irgend eine Kraft in einer bestimmten Zeit verrichtet, ausdrücken will, so giebt man an, wie früher schon gesagt wurde, welches Gewicht die Kraft senkrecht vom Boden zu heben vermag; zugleich aber auch muß gesagt werden, auf welche Höhe dieses Gewicht in der genannten Zeit gehoben werden könnte. Multiplicirt man dann das in Kilogrammen ausgedrückte Gewicht mit der in Metern angegebenen Höhe, so erhält man die verrichtete Arbeits- oder Wirkungsgröße. In Ländern, wo das metrische Maßsystem nicht eingeführt ist (England, Amerika ꝛc.), wird das Gewicht in Pfund und der Weg in Fuß angegeben.

Es ist nämlich natürlich, daß es eine doppelte Leistung ist, wenn 1 k auf 2 m Höhe, statt auf 1 m Höhe gehoben wird; eben so wird die doppelte Arbeit verrichtet, wenn 2 k (statt 1 k) 1 m hoch gehoben werden.

Digitized by Google

Wenn aber 2 k 2 m hoch gehoben werden, so ist dies die vierfache, und wenn 2 k 3 m hoch gehoben werden, die sechsfache Arbeit.

Man sieht also, daß man in der That das gehobene Gewicht mit der Höhe, auf welche dasselbe gebracht wird oder durch die Kraft gebracht werden könnte, multipliciren muß.

Um die so erhaltene Arbeit zu benennen, gebraucht man, da Gewichtsmaß mit Längenmaß multiplicirt worden ist, die Benennungen Kilogrammmeter und Pfundfuß, gewöhnlicher aber Fußpfund.

Wenn also 20 k 4 m hoch gehoben werden, so ist dies eine Arbeit von 20×4 oder 80 kgm (Kilogrammmeter). Oder übt der Dampf auf die Fläche des Kolbens einer Dampfmaschine einen Druck aus von 7200 Pfund und es bewegt sich der Kolben mit einer Geschwindigkeit von 3 Fuß, so wäre die in der Secunde vom Dampf verrichtete Arbeit $= 7200.3 = 21600$ Fußpfund.

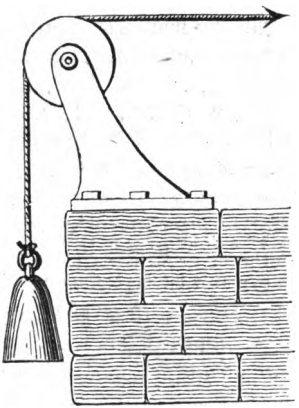


Fig. 3.

Wollte man die von einem Pferde beim Fortziehen eines Wagens verrichtete Arbeit und zwar die Arbeit per Secunde bestimmen, so braucht man nur den Kraftmesser in der oben genannten Weise anzubringen und zu beobachten, wie stark die Feder gespannt wird. Zugleich auch muß man sich den in der Secunde zurückgelegten Weg merken und die gefundenen Zahlen dann multipliciren.

Die Erfahrung lehrt nun, daß die mittlere Zugkraft eines Pferdes, wenn es täglich 8—10 Stunden wirksam sein soll, bei einer Geschwindigkeit von 1 m, etwa 75 k

Digitized by Google

beträgt*); der Widerstand, den das Pferd beim Fortziehen eines Wagens überwinden kann, muß also gerade so groß sein, als hätte das Pferd, statt eines beladenen Wagens ꝛc., an einem, um eine leichtbewegliche Rolle geschlungenen Seile 75 k in die Höhe zu ziehen, vergl. Fig. 3 S. 15. Diese secundliche Leistung oder Arbeit des Pferdes (der Effect) beträgt also 75×1 oder 75 Kilogrammmeter.

In der Mechanik bezeichnet man diese Leistung mit dem Namen Pferdekraft, und es wird dadurch gewöhnlich die Leistungsfähigkeit der Wasserräder und Dampfmaschinen ꝛc. ausgedrückt.

Die Bezeichnung sollte eigentlich Pferdeleistung, Pferdearbeit oder Pferdestärke heißen, da man, wie schon bemerkt, hierunter nicht blos die Zugkraft, sondern die sogenannte Arbeitsgröße versteht.

Wollte man die sogenannte Pferdekraft in Fuß- und Pfundmaß ausdrücken, so erhielte man hiefür z. B. in dem früheren preußischen Maß, da 1 k = 2 Pfund und 1 m = 3,186 Fuß ist, $75 . 2 . 3{,}186 = 478$ Fußpfund.
In österreichischem Maße ist die Pferdekraft = 424 Fußpfund.
in englischem „ „ „ „ = 542 „

Bezeichnet man die Kraft, d. h. den in Gewichten ausgedrückten Zug oder Druck, mit P und den während der Kraftwirkung vom Angriffspunkt zurückgelegten Weg mit s (s. Fr. 7), so ist die verrichtete Arbeitsgröße = P . s.
Die in der Secunde verrichtete Arbeitsgröße oder den sogen. Effect nennt man P . v, da v den in der Secunde zurückgelegten Weg bezeichnet.

18. Was versteht man unter der lebendigen Kraft?

Es ist dies eben so wenig, wie die sogenannte Pferdekraft, eine eigentliche Kraft, sondern die Wirkungsgröße oder Arbeit, welche eine, in Bewegung gesetzte, sich selbst überlassene Masse — wie das fließende Wasser, eine abgeschossene Kugel, ein Schwungrad, ein sich selbst überlassener Wagenzug ꝛc. ꝛc. — verrichten kann, bis die Bewegungswiderstände allmählich die Bewegung aufgehoben haben und der Zustand der Ruhe eintritt.

*) Für kurze Zeit kann ein Pferd wohl das Zwei- und Dreifache leisten, aber nicht für die Dauer.

Digitized by Google

Die Größe dieser Wirkung ist, wie schon der Augenschein lehrt, um so bedeutender, je schwerer die bewegte Masse und je größer die Geschwindigkeit ist, mit welcher die Bewegung erfolgt. Doch haben Masse oder Gewicht und die Geschwindigkeit nicht den gleichen Einfluß auf die Wirkungsfähigkeit des bewegten Körpers. Ein doppelt so schwerer Körper übt nämlich auch doppelte Wirkung aus. Ein Körper aber, welcher bei gleichem Gewicht wie ein anderer sich doppelt so schnell bewegt, besitzt eine vierfache Wirkungsfähigkeit und bei dreifacher Geschwindigkeit eine 3 . 3 = neunfache Wirkungsfähigkeit ꝛc. — Daher die bedeutenden Wirkungen bei einem heftigen Anprall d. h. bei großer Geschwindigkeit, wie z. B. bei Geschossen, bei Gewichten, die von ansehnlichen Höhen herabfallen, bei rasch sich bewegenden Eisenbahnzügen bei Hochwasser ꝛc. ꝛc.

Drittes Kapitel.

Von der Zusammensetzung und Zerlegung der Kräfte und den von diesen erzeugten Bewegungen.

---

19. Was versteht man unter der Zusammensetzung der Kräfte?

Man versteht darunter das Aufsuchen oder Ermitteln einer einzigen Kraft, welche das Nämliche verrichtet oder arbeitet, wie mehrere Kräfte, die an einem und demselben Körper wirken. Diese eine Kraft muß also im Stande sein, die anderen, zusammenzusetzenden Kräfte in allen Stücken zu ersetzen. Man nennt diese eine Kraft die Mittelkraft, Mittlere oder Resultirende; dagegen bezeichnet man die ursprünglichen, zusammenzusetzenden Kräfte mit dem Namen Seitenkräfte.

20. Sind beim Aufsuchen der sogenannten Mittelkraft verschiedene Fälle zu unterscheiden?

Ja; es kommt nämlich darauf an, nach welchen Richtungen die Kräfte wirken.

Digitized by Google

Dabei sind folgende Fälle zu unterscheiden:

a. Die Kräfte wirken in einer geraden Linie und nach der nämlichen Richtung;
b. die Kräfte wirken in entgegengesetzter Richtung;
c. die Kräfte wirken so, daß ihre Richtungslinien Winkel mit einander bilden;
d. die Kräfte wirken an einem Körper nach paralleler Richtung.

21. Wie findet man die Mittlere in den beiden ersten Fällen?

Wenn die Kräfte nach gleicher Richtung wirken, so muß ihre Mittlere oder Resultirende natürlich so groß sein, wie die Einzelkräfte zusammen. Man muß diese also addiren, um ihre Mittlere zu erhalten.

Wirken die Kräfte aber entgegengesetzt, so zieht man die einerseits wirkenden Kräfte von den nach der Gegenseite wirkenden ab. Der Rest oder Unterschied giebt die Größe der Mittlern an.

22. Wie findet man die Mittlere von zwei Kräften, deren Richtungslinien einen Winkel bilden?

Zur Beantwortung der Frage denke man sich, die Kraft P (Fig. 4) vermöchte für sich allein einen Körper A in einer

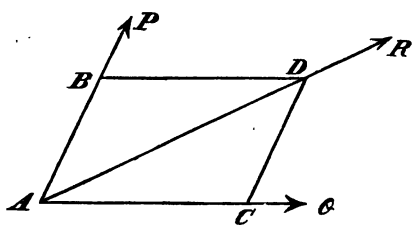


Fig. 4.

gewissen Zeit, z. B. in einer Secunde, bis B zu bringen, und in der gleichen Zeit bringe die Kraft Q für sich allein den Körper von A nach C. Wirken nun aber beide Kräfte gleichzeitig an dem Körper, so kann dieser weder nach B noch nach C gelangen,

Digitized by Google

sondern er wird im Punkte D ankommen, wenn CD parallel mit AB und dieser Linie gleich ist. Denn während die Kraft P den Körper A längs der Linie AB verschiebt, bringt die andere Kraft Q die Linie AB, an welcher der Körper verschiebbar sein soll, in die Lage CD.

In dem genannten Fall ist die Figur ABDC ein Parallelogramm und AD ist dessen Diagonale. Ist aber der Körper A nach Verfluß der oben genannten Zeit in D angekommen, so hat er natürlich keinen anderen Weg durchlaufen, als die Diagonale des erwähnten Parallelogramms.

Das Gesagte ergiebt sich auch aus hier folgender Fig. 5.

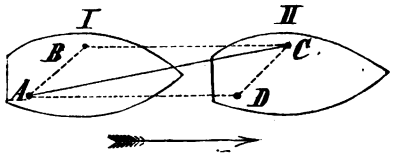


Fig. 5.

Geht eine Person auf einem Schiffe, das sich in I befindet, von A nach B, während das Schiff in Bewegung ist, so wird die Person, wenn das Schiff unterdessen in die Lage II gelangt, in dem Orte C des Raumes ankommen. AB stellt den Weg der Person auf dem Schiffe vor, während AD den vom Schiffe unterdessen zurückgelegten Weg bezeichnet. Die Person hat sich also auf der Strecke AC bewegt, da sie von A ausging und in C ankam. ABCD ist aber wieder ein Parallelogramm und AC dessen Diagonale.

Somit stellt in Fig. 4 die Linie AD und in Fig. 5 AC den Weg vor, auf welchem eine einzige Kraft, d. i. die Mittelkraft, den Körper bewegen müßte. Da aber die Kräfte in gleichem Verhältnisse zu einander stehen müssen, wie die einem und demselben Körper ertheilten Geschwindigkeiten, so kann man auch sagen, daß die Linien AB und AC Fig. 4 die Kräfte P und Q vorstellen, während die Resultirende R derselben durch die Diagonale AD dargestellt wird.

Digitized by Google

Man erhält darum die Mittlere zweier, unter einem gegebenen Winkel wirkenden Kräfte auf folgende Weise: Man nehme auf den Richtungslinien der Kräfte Stücke an, deren

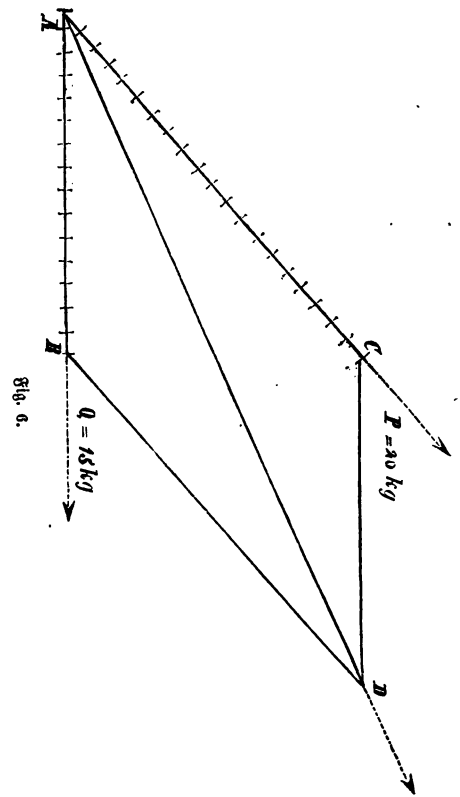


Fig. 6.

Längen sich zu einander verhalten, wie die Kräfte, und construire dann über diesen Stücken ein Parallelogramm und ziehe die Diagonale; — diese Diagonale stellt sodann die Mittelkraft und zwar sowohl der Größe als der Richtung nach vor.

Digitized by Google

Die so erhaltene Figur nennt man das Parallelogramm der Kräfte.

Wären die beiden Seitenkräfte P und Q gleichgroß, so würde die Diagonale d. h. die Richtung der Mittelkraft begreiflicherweise den Winkel bei A halbiren. Ist die Kraft Q aber größer, so wird die Richtungslinie der Mittlern R sich mehr der Richtung der Kraft Q nähern.

Beispiel. Wäre die Kraft P = 20 k und Q = 15 k, und wirken dieselben unter einem Winkel von 40°, so trage man auf Fig. 6 den ∢ CAB = 40° ab, trage auf der Richtungslinie der Kraft P 20 gleiche Theile und auf der Richtung der anderen Kraft 15 eben so große Theile ab. Vollendet man dann das Parallelogramm und findet die Diagonale desselben 32,9 solcher Theile lang, so wäre die Mittlere R = 32,9 k. Ihre Richtung wird durch die ∢ CAD oder DAB angegeben, die mittelst des Transporteurs gemessen werden können.

Bei großen Kräften stellt man durch einen Theil eine größere Zahl von Kilogrammen (Pfunden) vor. Wäre z. B. die eine Kraft = 240 k und die andere = 400 k, so macht man die eine Richtungslinie oder Parallelogrammsseite 12 und die andere 20 Theile, oder jene 6 und diese 10 Theile lang. Im ersten Fall stellt dann ein Theil eine Kraft von 20 k und im anderen Fall eine solche von 40 k vor. Dabei erhält man jeweils Seiten des Parallelogramms, welche sich verhalten, wie die Kräfte.

23. Kann man die Mittlere zweier Kräfte, deren Richtungslinien einen Winkel bilden, nicht auch durch Rechnung finden?

Ja; aber das gewöhnliche geometrische Rechnen läßt sich nur für den Fall anwenden, daß die beiden Kraftrichtungen einen rechten Winkel bilden. Wäre z. B. die eine Kraft in Fig. 7 = 96 k und die andere = 112 k, so ist die Mittlere R durch die Hypotenuse AD des rechtwinkeligen Dreiecks ABD vorgestellt. Es ist alsdann nach dem sogenannten pythagoräischen Lehrsatz R.R = 96.96 und 112.112

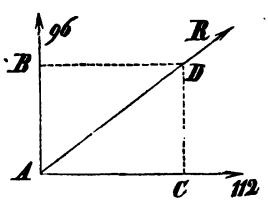


Fig. 7.

d. i. $R^2 = 96^2 + 112^2$

also $R = \sqrt{96^2 + 112^2} = \sqrt{21760} = 147{,}5$ k.

Digitized by Google

Das Berechnen der Mittleren bei anderen, als rechten Winkeln, so wie die Berechnung der vorkommenden Theilwinkel erfordert die Kenntniß der Trigonometrie.

24. Wie findet man aber die Mittlere von mehr als zwei Kräften, deren Richtungslinien Winkel mit einander bilden?

Man setzt je zwei Kräfte auf die eben genannte Art zusammen. Die Zusammensetzung der erhaltenen Mittlern mit der dritten Seitenkraft giebt eine neue Mittlere u. s. w., wie Fig. 8 zeigt.

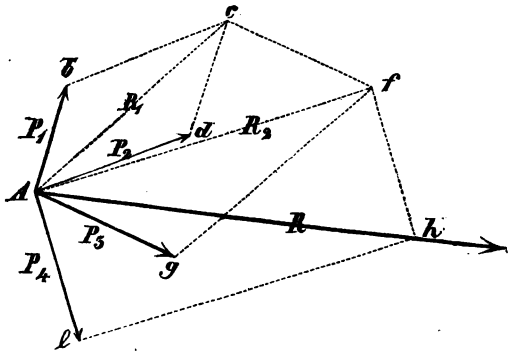


Fig. 8.

25. Wie werden parallel wirkende Kräfte zusammengesetzt?

Die Mittlere von Kräften, welche nach paralleler und gleicher Richtung wirken, muß natürlicherweise so groß sein, als die Seitenkräfte zusammen. Mit dem Auffinden der Mittlern allein ist aber die Aufgabe noch nicht vollständig gelöst, sondern es muß auch noch bestimmt werden, wo dieselbe wirken soll, d. h. wo ihr Angriffspunkt ist.

26. Wie findet man den Angriffspunkt der Mittleren zweier paralleler und nach gleicher Richtung wirkenden Kräfte?

Wären die beiden Kräfte P und G (Fig. 9) gleichgroß, so müßte natürlich der Angriffspunkt der Mittelkraft in der Mitte zwischen den Angriffspunkten A und B liegen. Ist aber die

Digitized by Google

eine Seitenkraft, z. B. G, größer, als die andere, so muß der Angriffspunkt C der Mittleren, dem Punkte B, wo die größere Seitenkraft wirkt, um so näher liegen, je größer diese ist.

Man sieht also ein, daß, je größer die Seitenkraft G ist, desto kleiner ist der Abstand C B ihres Angriffspunktes von dem Punkte C; und umgekehrt, je kleiner die Kraft P ist, um so größer ist die Entfernung A C ihres Angriffspunktes. Dies verhält sich genau so, daß wenn z. B. P halb so groß als G ist, umgekehrt der Abstand C B die Hälfte des Abstandes A C sein muß. Es verhält sich also immer P zu G, wie die Entfernung B C zu A C;

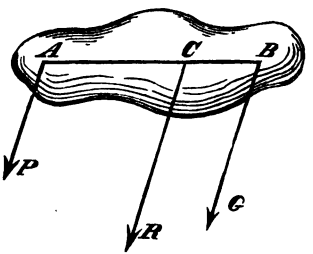


Fig. 9.

d. h. die Entfernungen (Abstände) vom Angriffspunkt der Mittleren verhalten sich umgekehrt wie die Kräfte.

Aus den genannten Verhältnissen (Proportion) ergiebt sich auch, daß

$$P : G = BC : AC,$$
$$\text{also} \quad P \cdot AC = G \cdot BC$$

sein muß;

d. h. die Producte aus den Seitenkräften multiplicirt mit ihrem Abstande von dem Angriffspunkt der Mittleren müssen gleich sein.

Beispiel. Wären die Seitenkräfte = 80 k und 120 k und ihre Angriffspunkte 15 Centimeter (Zoll ꝛc.) von einander entfernt, so beträge ihre Mittelkraft 80 + 120 = 200 k. Die Lage ihres Angriffspunktes ergiebt sich folgendermaßen:

Da die in A Fig. 10 S. 24 wirkende Kraft 80 k und die in B wirkende 120 k beträgt, so muß sich umgekehrt die Entfernung B C zu der Entfernung A C wie 80 zu 120 verhalten. Es verhält sich aber 80 zu 120, wie 8 zu 12 oder 2 zu 3.

Somit muß B C $\frac{2}{5}$ und A C = $\frac{3}{5}$ von A B, also B C = 6 und A C = 9 sein. Alsdann ist auch 80 . 9 = 120 . 6.

Digitized by Google

27. Wie werden drei und mehr parallel wirkende Kräfte zusammengesetzt?

Man setzt wieder jeweils zwei Kräfte zu einer Mittleren und diese dann mit der dritten Kraft 2c. 2c. zusammen.

28. Was versteht man unter der Zerlegung der Kräfte?

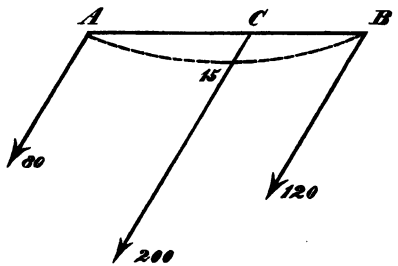


Fig. 10.

Man versteht darunter die Bestimmung zweier oder mehrerer Kräfte, welche das Nämliche wirken, wie die gegebene eine Kraft.

Oder auch man versteht darunter die Bestimmung der Kraftäußerungen, welche eine einzige Kraft nach zwei oder mehr gegebenen Richtungen hervorbringt.

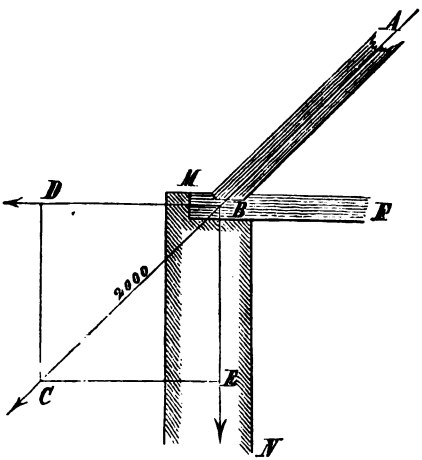


Fig. 11.

Wirkt z. B. in dem Balken (Dachsparren) A B Fig. 11 nach der Richtung A B C eine Kraft von z. B. 2000 k, so kann man fragen: Wie groß ist der Druck, der in senkrechter Richtung B E auf die Mauer M N von jener, in der Sparrenrichtung wirkenden Kraft hervorgebracht wird, und wie groß ist die Schubkraft

Digitized by Google

welche nach B D wirkt und die Mauer umzustürzen (zu schieben) sucht?

Um diese beiden Seitenkräfte zu erhalten, zerlegt man nun die gegebene, die Mittelkraft von jenen bildende Kraft in der Weise, daß man durch irgend eine Strecke B C die Kraft 2000 darstellt und diese Linie dann als die Diagonale des Kräfteparallelogramms ansieht. Da die Richtungen der Parallelogrammsseiten gegeben sind, so braucht man nur von C aus parallele Linien mit B E und B D ziehen, und es entsteht dann das Parallelogramm B D C E. Untersucht man, wie sich die Seiten des Parallelogramms zur Diagonale ihrer Länge nach verhalten, so ergiebt sich, da die Diagonale eine Kraft von 2000 k vorstellt, wie groß die nach D und E wirkenden Seitenkräfte sind.

Macht der Sparren A B mit dem horizontalen Balken M F einen halben rechten Winkel, wie bei Dachanlagen oft der Fall ist, so wird das Parallelogramm B D C E zu einem Quadrat und die nach D und E wirkenden Kräfte sind gleich.

Nennt man eine dieser Kräfte = X, so wäre nach Fr. 23 2.

$$X^2 = 2000^2$$

$$X^2 = \frac{4000000}{2}$$

und $X = \sqrt{2000000} = 1414{,}2$ k.

29. Wie zerlegt man eine Kraft in zwei parallel wirkende Seitenkräfte?

Gesetzt, an der Stange A B Fig. 12 S. 26 sei in dem Punkte C die Last Q = 150 k aufgehängt, so kann man fragen: Wie groß sind die in A und B wirkenden Drucke; oder, wenn zwei Personen die Stange in A und B anfassen: was hat jede derselben zu tragen?

Diese beiden Drucke sind aber nun nichts Anderes, als die Seitenkräfte der Mittleren Q. Um diese Seitenkräfte zu finden, muß man nach Fr. 26 bedenken, daß der Druck in B so vielmal größer ist, als der in A, sovielmal B C kleiner ist, als A C. Wäre z. B. A C = 7 cm und B C = 5 cm, also A B =

Digitized by Google

12 cm, so wäre die in A wirkende Kraft $^5/_{12}$ und die in B wirkende dagegen $^7/_{12}$ der aufgehängten Last Q; also die erstere $^5/_{12} \cdot 150 = 62\,^1/_2$ k und die andere $= ^7/_{12} \cdot 150 = 87\,^1/_2$ k.

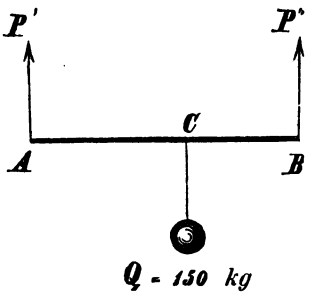


Fig. 12.

30. Was ist der Fall, wenn man in dem Angriffspunkte der Mittleren von, an einem Körper parallel wirkenden Kräften einen festen Stütz- oder Drehpunkt anbringt?

In diesem Falle werden die Kräfte im Gleichgewicht sein, d. h. sie werden den Körper, wie sie solches erstreben, nach keiner Seite zu drehen vermögen.

Zum Beweise denke man sich in Fig. 13 die Mittelkraft R^1 entgegengesetzt wirkend den Seitenkräften P und Q, so wird begreiflicherweise die Kraft R^1 die beiden Kräfte P und Q vollständig aufheben, da sie ja das Nämliche zu wirken im Stande ist, wie diese Kräfte, aber entgegengesetzt wirkt. Es verhält sich also ganz und gar, als ob gar keine Kraft vorhanden wäre. — Die Kräfte sind also im Gleichgewicht.

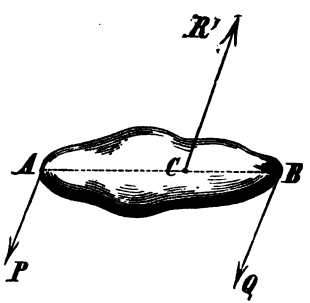


Fig. 13.

Das Nämliche muß aber auch der Fall sein, wenn statt der Mittleren im Punkte C ein fester Stützpunkt angebracht wird, wie in Fig. 14, denn statt der entgegengesetzt wirkenden Kraft R^1 verhindert nun dieser feste Punkt, daß die Kräfte P und Q eine Bewegung hervorbringen können.

Digitized by Google

31. Wenn sind also parallelwirkende Kräfte, welche einen Körper um einen Punkt zu drehen suchen, im Gleichgewicht?

Nach Fr. 26 einfach dann, wenn die Kräfte sich umgekehrt verhalten, wie die Abstände ihrer Angriffspunkte von jenem festen Punkte, oder wenn, Fig. 15, P . A C = Q . B C ist.

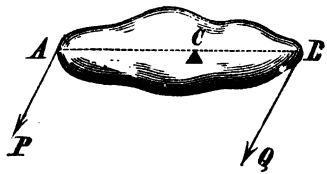


Fig. 14.

32. Was ist also hinsichtlich der Wirkungsgröße solcher Kräfte zu bemerken, welche einen Körper um einen bestimmten Punkt zu drehen suchen?

Es ergiebt sich aus Obigem die höchst wichtige Thatsache, daß die Wirkung einer jeden Kraft auch von der Entfernung abhängig ist, in welcher sie, vom Drehpunkte aus gerechnet, thätig ist. Und zwar kann eine kleine Kraft das Nämliche wirken wie eine große, wenn sie in einer größeren Entfernung angreift.

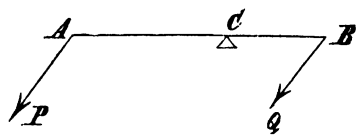


Fig. 15.

Ueberhaupt üben Kräfte ganz die gleiche Wirkung bezüglich einer hervorzubringenden Drehung aus, wenn die Kräfte mit den Entfernungen ihrer Richtungslinien vom Drehpunkte in umgekehrter Ordnung proportionirt, oder wenn ihre sogenannten statischen Momente gleich sind.

33. Was versteht man unter dem statischen Moment?

Nichts Anderes, als was in Fr. 26 und 31 gesagt ist, nämlich das Product gebildet aus einer Kraft und der Entfernung ihrer Richtungslinie von dem Drehpunkte.

Digitized by Google

Sind diese Producte oder die „statischen Momente“ der Kräfte, welche den Körper in umgekehrter Richtung zu drehen suchen, einander gleich, d. h. ist Fig. 14 und 15

$$P.AB = Q.BC,$$

so findet keine Drehung statt.

34. Wie verhält es sich aber, wenn mehr als zwei Kräfte einen Körper um einen Punkt (eine Axe) zu drehen suchen, und wenn die Kräfte nicht nach paralleler Richtung wirken?

In diesem Falle ist eben so und ist überhaupt stets Gleichgewicht zwischen den, eine entgegengesetzte Drehung hervorbringenden Kräften, wenn die statischen Momente der einerseits wirkenden Kräfte (d. h. die Producte aus den Kräften und den Abständen vom Drehpunkte) zusammen gleich sind der Summe der statischen Momente der nach der Gegenseite wirkenden Kräfte.

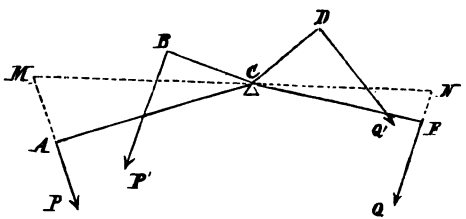


Fig. 16.

Hiebei ist aber nicht außer Acht zu lassen, daß man unter den Entfernungen des Drehpunktes von den Richtungslinien der Kräfte stets, was sich eigentlich auch schon aus der Natur der Sache versteht, die rechtwinkeligen meint.

Somit findet nach Fig. 16 keine Drehung statt, wenn

$$P.AC + P'.BC = Q.CF + Q'.CD$$

ist.

35. Hat der Satz über die statischen Momente große Bedeutung in der Mechanik?

Gewiß; derselbe spricht eines der wichtigsten Grundgesetze über die Wirkungsgröße der Kräfte aus, und findet in der

Digitized by Google

praktischen Mechanik, wie weiter unten gezeigt werden wird, außerordentlich vielfache Anwendung; denn es beruhen darauf die Wirkungsgesetze der Hebel, Wellräder und aller Räderverbindungen, der Wagen ꝛc.

36. Was ist unter einer zusammengesetzten Bewegung zu denken?

Nichts Anderes, als was in Fr. 22 schon ausgesprochen und durch die Fig. 4 und 5 veranschaulicht worden ist.

Wenn nämlich einem Körper Bewegungen nach zwei verschiedenen Richtungen ertheilt werden, so nimmt er, wenn z. B. diese Richtungen Winkel mit einander bilden, eine mittlere Bewegung an, deren Größe und Richtung die Diagonalen A D und A C Fig. 4 und 5 ausdrücken.

37. Wo kommen solche zusammengesetzte Bewegungen vor?

Bei der Bewegung auf einem Schiff; sodann ist die Bewegung des Schiffes selbst vermittelst der Strömung und der Ruder- und Windrichtung eine zusammengesetzte. Insbesondere sind aber wichtige Beispiele der zusammengesetzten Bewegung die Wurfbewegung (bei geworfenen oder abgeschossenen Körpern ꝛc.), die Centralbewegung (bei jedem sich um einen Mittelpunkt oder ein Centrum drehenden Körper, z. B. bei den Himmelskörpern ꝛc.), die Bewegung auf einer schiefen Ebene und die Pendelbewegung.

38. Inwiefern ist die Wurfbewegung zusammengesetzt?

Einfach aus dem Grunde, weil in dem Augenblicke, wo ein geworfener Stein oder eine abgeschossene Kugel die Hand oder das Rohr verlassen, sie der Wirkung zweier Kräfte zu folgen gezwungen sind. Diese zwei Kräfte sind die Kraft, mit welcher der Körper abgeworfen wird, die sogenannte Wurfkraft, und die Schwerkraft oder Anziehungskraft der Erde.

Aus der Wirkung beider Kräfte ergiebt sich die Bahn, welche der Körper in Wirklichkeit durchläuft, in folgender Weise: Vermöge der Wurfkraft allein, deren Wirkung eine nur einmalige, anstoßende ist, würde der Körper A (Fig. 17 S. 30) eine geradlinige Bewegung annehmen und in irgend einer Zeit, z. B. in 1 Sec., nach a, in 2 Secunden nach b d. h. doppelt so weit, und in

Digitized by Google

3 Secunden nach c ꝛc. gelangen. In Folge der Schwerkraft, welche beſtändig auf den Körper einwirkt, würde der Körper aber, ſich ſelbſt überlaſſen, nach Fr. 9 in 1 Secunde um ein Stück A m = 4,9 m, in 2 Secunden um A n = 4 . 4,9 m, in 3 Secunden um 9 . 4,9 m fallen. Daraus ergiebt ſich durch Zuſammenſetzung vermittelſt des Parallelogramms der Kräfte (Fr. 22), daß der in A abgehende Körper in 1 Secunde weder in a, noch in m, ſondern im Endpunkte B des Parallelogramms A a B m ankommt, da er die Diagonale A B zu durchlaufen gezwungen iſt. Aus dem nämlichen Grunde kommt der Körper in 2 Secunden im Endpunkte C des Parallelogramms A b C n und in 3 Secunden im Punkte D des Parallelogramms A c D o an.

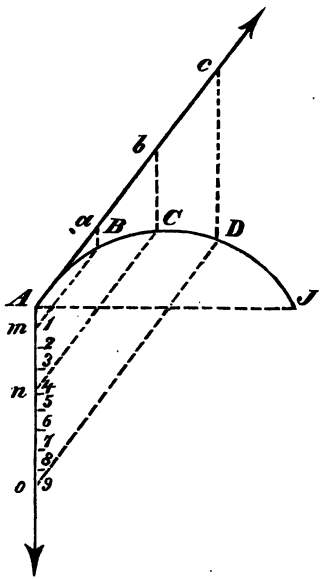


Fig. 17.

Da die Bewegungsrichtung ſich jeden Augenblick ändert, ſo durchläuft der Körper keine gerade ſondern eine krumme Linie A D J, welche man Parabel nennt.

Es ergiebt ſich hieraus, daß jede abgeſchoſſene Kugel in Wirklichkeit eine ſolche krummlinige Bahn durchläuft, und es richtet ſich die Wurfweite oder die Größe A J der Flugbahn nach der ſogenannten Elevation d. h. nach dem Winkel c A J, welchen die urſprüngliche Bewegungsrichtung mit der Horizontalen A J macht. Im leeren Raume würde die Wurfweite

Digitized by Google

bei einer Elevation von 45° die größte sein; in Wirklichkeit ist dies der Fall bei einem ∢ von 35—37°.

39. Wie entsteht eine Centralbewegung?

Ein Körper A Fig. 18 macht eine Centralbewegung, wenn eine Kraft ihn beständig nach einem Punkte (Centrum) C hinzieht, während eine andere nur einmal wirkende oder Stoßkraft denselben seitwärts nach b zu bewegen sucht. Man nennt die erste Kraft P die Centripetalkraft und die andere Q die Tangentialkraft, weil ihre Richtung in der Tangente zur krummen Bahn liegt. Bei der Bewegung der Erde und anderer Planeten um die Sonne ist die Anziehungskraft der Sonne die Centripetalkraft, bei der Bewegung des Mondes um die Erde ist es dagegen die Anziehungskraft der letzteren. Ein bei Beginn der Bewegung erfolgter Stoß nach der Richtung A b ist die Tangentialkraft. Die Bahn selbst ergiebt sich so:

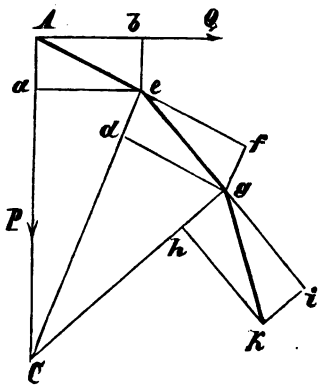


Fig. 18.

In irgend einem Zeittheilchen soll die eine Kraft für sich allein den Körper nach a und die andere denselben nach b bringen; in diesem Fall wird nach Bisherigem der Körper sich von A nach e bewegen, da er die Diagonale A e durchläuft. In e angekommen und sich selbst überlassen, würde der Körper in der geraden Richtung A e f fortgehen und im 2. Zeittheilchen e f durchlaufen, wenn e f = A e ist. In dieser Zeit würde aber die beständig wirkende Anziehungskraft den Körper für sich von e nach d bewegen, wenn e d = A a ist; der Körper ist also wieder gezwungen, die Diagonale e g zu durchlaufen.

Digitized by Google

Im 3. Zeittheilchen sind dem Körper die Bewegungen nach g i und g h mitgetheilt und er muß aus den genannten Gründen in k ankommen.

Vermöge der beständigen Wirkung der Kraft P ist die Bahn wieder eine krumme Linie und zwar bildet solche gewöhnlich einen Kreis oder bei den Bahnen der Himmelskörper eine Ellipse. — Keppler'sche Gesetze.

40. Was versteht man unter der Centrifugal- oder Fliehkraft?

Man versteht darunter die Kraft, welche in jedem Körper, der sich um ein Centrum dreht, thätig wird und vermöge deren in dem Körper ein Streben auftritt, sich von diesem Centrum zu entfernen oder zu fliehen. Die Centrifugalkraft erwächst also erst aus der Centralbewegung, welcher ein Körper unterworfen ist, wirkt der Centripetalkraft entgegen und ist gerade so groß wie diese. Dieselbe wächst in dem Maße, als das Gewicht des bewegten Körpers zu- und der Bahndurchmesser abnimmt; insbesondere aber nimmt die Kraft mit dem Grade der Umdrehungsgeschwindigkeit zu und zwar so, daß bei zweifacher Geschwindigkeit die Centrifugalkraft viermal größer, bei dreifacher Geschwindigkeit neunmal ꝛc. größer ist.

Die Centrifugalkraft hat mannigfache Anwendung gefunden; so z. B. bei der gewöhnlichen Fruchtputzmühle und überhaupt bei Fruchtreinigungs- und Sortirungsapparaten an Dreschmaschinen ꝛc., bei dem Centrifugalgebläse oder Ventilator, bei der Centrifugalpumpe, dem Centrifugalregulator der Dampfmaschinen, den Centrifugaltrockenmaschinen ꝛc. ꝛc. — Die Centrifugalkraft wirkt bei der Arbeit der Mühlsteine und bei Wagen, wenn solche schnell in Krümmungen fahren, ferner bei der Schleuder, bei einem Glas Wasser, das, in einen Reif gestellt, im Kreise herumgeschleudert werden kann, ohne auszufließen oder zu fallen; sie wirkt ferner vermöge der Axendrehung in jedem auf der Oberfläche der Erde befindlichen und überhaupt in jedem in Umdrehung begriffenen Körper. Die Wirkung der Centrifugalkraft wird veranschaulicht durch die sogenannte Centrifugalmaschine, deren Beschreibung aber in das Gebiet der Physik gehört.

Digitized by Google

41. Wie gestaltet sich die Bewegung auf einer schiefen Ebene, und wie groß ist die daselbst eigentlich bewegende Kraft?

Wenn sich auf einer schiefen oder geneigten Ebene A B C Fig. 19 ein Körper befindet, so ist es natürlich nicht mehr das ganze Gewicht G, welches den Körper, wie beim freien Fall, in der Richtung der Ebene in Bewegung setzt, sondern es ist nur ein Theil, eine Seitenkraft desselben, während der andere Theil den Körper gegen die Ebene andrückt.

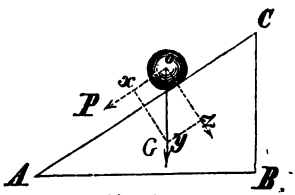


Fig. 19.

Man erhält diese Seitenkräfte des Gewichtes G, wenn man, wie in der Figur zu sehen ist, das Gewicht G nach Fr. 28 in eine Seitenkraft nach der Linie o x, parallel mit der schiefen Ebene, und in eine solche nach der Linie o z, senkrecht auf dieselbe, zerlegt. Man nimmt zu dem Ende eine Linie o y an, welche das Gewicht G vorstellen soll, und zieht mit obigen Linien die Parallelen x y und z y. Alsdann stellt die Linie o x die Kraft, welche den Körper in der Richtung der Ebene bewegt, oder die sogenannte abwärtstreibende Kraft P vor, während die Linie o z den vom Körper auf die Ebene ausgeübten Druck darstellt.

Die abwärtstreibende Kraft P verhält sich also zu dem Gewichte G wie die Linie o x zu o y. Die Linien o x und o y verhalten sich aber zu einander, wie die Höhe B C = h zu der Länge A C = l der schiefen Ebene, d. h. soviel mal h kleiner ist, als l, ist auch o x kleiner, als o y. Ebensovielmal ist aber auch P kleiner als G. Somit ist die abwärtstreibende Kraft

$$P = \frac{BC}{AC} \cdot G = \frac{h}{l} \cdot G.$$

Dies will sagen: Sovielmal die Höhe der schiefen Ebene kleiner ist, als die Länge, oder der sovielte Theil jene von dieser ist, der sovielte Theil ist auch die auf der Ebene abwärtstreibende Kraft vom ganzen Gewicht des Körpers. Ebensovielmal muß

Digitized by Google

aber dann auch die Geschwindigkeit des Körpers, der die schiefe Ebene herabrollt, kleiner sein, als die Fallgeschwindigkeit.

Hätte z. B. die Ebene auf 10 m Länge eine Höhe von 1 m, so daß also die letztere 10 mal kleiner ist als jene, so wäre auch die Kraft P 10 mal kleiner als das Gewicht und es würde in Folge dessen die Geschwindigkeit, welche ein auf der schiefen Ebene herabrollender Körper nach 1 Secunde annähme, nur $^1/_{10}$ der Fallgeschwindigkeit, also $^1/_{10}$ von 9,81 m d. i. etwa 1 m betragen. Alsdann ist aber auch der Weg, den ein Körper auf der schiefen Bahn zurücklegt, nur $^1/_{10}$ des in gleicher Zeit beim freien Fall durchlaufenen Raumes.

42. Was versteht man unter einem Pendel und unter der Pendelbewegung?

Man versteht unter einem Pendel einen, an einem festen Punkte aufgehängten Körper, welcher, wenn er aus seiner lothrechten Lage gebracht wird, um jenen Aufhängepunkt hin- und herschwingt. Ist der Körper an einem möglichst gewichtlosen Faden aufgehängt, so nennt man das Pendel ein einfaches oder mathematisches Pendel.

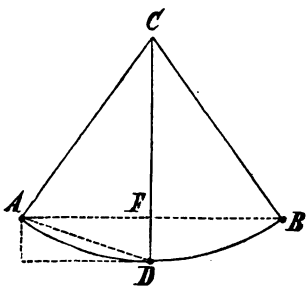


Fig. 20.

Die Schwingungen des Pendels sind eine Folge der am Körper wirkenden Schwerkraft, so wie des Beharrungsvermögens des in Bewegung gesetzten Körpers.

Bringt man nämlich das in C Fig. 20 aufgehängte Pendel in die Lage CA, so fällt es vermöge seiner Schwere und gelangt in beschleunigter Bewegung in die Lage CD. Kraft der hierbei erreichten Geschwindigkeit setzt das Pendel aber seine Bewegung fort, und würde, wenn keine Bewegungshinderniſſe obwalteten, andrerseits mit verzögerter Bewegung den Bogen DB = AD

Digitized by Google

durchlaufen und eine Höhe erreichen, welche gleich der Fallhöhe FD ist. Von B geht das Pendel wieder in der nämlichen Weise nach D und A zurück u. s. w.

Jede Pendelbewegung von A nach B oder zurück von B nach A heißt ein Pendelschlag oder eine Pendelschwingung; die Linie CA = CD = CB wird Pendellänge, und die Zeit, welche das Pendel zu einer Schwingung braucht, Schwingungszeit genannt.

43. Wovon ist die Schwingungszeit eines Pendels oder die Zahl der in einer gewissen Zeit gemachten Schwingungen abhängig?

Die zu einer Schwingung erforderliche Zeit oder die Schnelligkeit, mit welcher die Schwingungen erfolgen, ist blos von der Länge des Pendels abhängig. Je länger das Pendel ist, desto langsamer schwingt dasselbe, und zwar verhält es sich hierbei genau so, daß ein Pendel, das 2mal schneller schwingen soll, als ein anderes, 2 . 2 oder 4mal kürzer sein müßte; ein Pendel aber, das in einer gegebenen Zeit 3mal mehr Schwingungen machen sollte, müßte 3 . 3 oder 9mal kürzer und bei 4mal mehr Schwingungen 4 . 4 oder 16mal kürzer sein ꝛc.

Eben so macht umgekehrt ein 4mal längeres Pendel nur halb so viel und ein 9mal längeres dreimal weniger Schwingungen.

Die Größe des Anstoßes, der das Pendel zum Schwingen bringt, also auch die Größe des Schwingungsbogens AB hat, so lange ein gewisses Maß nicht überschritten wird, auf die Schwingungsdauer keinen Einfluß.

44. Was versteht man unter einem Secundenpendel?

Es ist dies ein Pendel, das in einer Secunde genau eine Schwingung macht. — Die Länge eines solchen Pendels richtet sich nach der Höhe eines Ortes, da ja von der Erhebung über der Meeresfläche die Schwerkraft, welche die Schwingungen mit verursacht, abhängig ist.

In Paris, London, Königsberg ꝛc., d. h. an Orten von ziemlich gleicher Höhe und geographischer Breite beträgt die Länge

Digitized by Google

des Secundenpendels 0,9939 m. — Gegen die Pole hin muß die Länge größer gemacht werden, da die Erde dort abgeplattet und darum die Anziehungskraft derselben größer ist.

45. Wie muß ein wirkliches oder physisches Pendel beschaffen sein?

Die bei Uhren zur Regulirung der Bewegung angewendeten physischen Pendel stimmen mit einem mathematischen Pendel ziemlich überein, wenn der schwingende Körper, die sogenannte Linse, an einer dünnen Stange oder einem Draht aufgehängt ist. Dann gelten für dieselben auch die oben genannten Sätze in allen Beziehungen. Ist aber die Pendelstange verhältnißmäßig schwer, so verhält es sich mit der Länge derselben insofern anders, als dieselbe etwas größer sein muß, als bei dem mathematischen Pendel. Uebrigens hängt die Schwingungsdauer, also auch die Länge eines physischen und namentlich zusammengesetzten Pendels auch von der Construction desselben und der Anbringung des Aufhängepunktes ab.

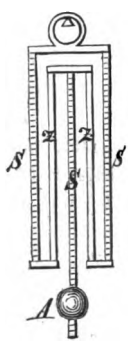


Fig. 21.

Auf den Gang eines physischen Pendels hat auch die Temperatur Einfluß, weil sich bei der Aenderung derselben auch die Pendellänge ändert. Ein gewöhnliches Uhrenpendel muß darum im Sommer oder bei höherer Temperatur, wo sich die Körper ausdehnen, kürzer, und im Winter aus dem umgekehrten Grunde länger gemacht werden.

Dem Einflusse der Temperatur kann übrigens begegnet werden durch sogenannte Compensationspendel.

46. Was versteht man unter einem Compensationspendel?

Es ist dies ein solches zusammengesetztes Pendel, bei welchem sich die durch Temperaturveränderung bewirkte Vergrößerung oder Verkürzung der Pendellänge ausgleicht oder aufhebt, indem dabei eine nach abwärts stattfindende Veränderung in der Pendellänge durch eine andere nach aufwärts wirksame ausgeglichen wird,

Digitized by Google

sodaß die Linse oder der sogenannte Schwingungsmittelpunkt immer in gleicher Entfernung vom Aufhängepunkt bleibt.

Fig. 21 zeigt ein solches Compensations- oder Rostpendel. Dasselbe besteht aus drei Stahlstangen S und zwei Zinkstangen Z. In Folge der Ausdehnung der drei Stahlstangen erleidet die Linse A eine zweifache Senkung. Die Zinkstangen können sich nur nach oben verlängern, und weil Zink sich ungefähr doppelt so stark ausdehnt, als Stahl, so wird also dadurch die Linse A um gerade so viel gehoben, als sich solche vermöge der Verlängerung der Stahlstangen senkte.

Quecksilbercompensationspendel. An der Pendelstange ist statt der Linse ein Gefäß mit Quecksilber angebracht. Bei erfolgter Ausdehnung hebt sich der Schwerpunkt des Quecksilbers und gleicht so die Verlängerung der Pendelstange aus.

Viertes Kapitel.

Vom Schwerpunkt.

47. Was versteht man unter dem Schwerpunkt?

Es ist dies derjenige Punkt eines Körpers, in welchem man sich das gesammte Gewicht desselben vereinigt denken kann. Ist dieser Punkt unterstützt, so befindet sich der Körper in Ruhe. Der Schwerpunkt eines frei aufgehängten Körpers befindet sich immer lothrecht unter dem Aufhängepunkt.

48. Wie findet man den Schwerpunkt?

Dies kann geschehen durch Probiren oder auch auf theoretischem Wege.

Legt man den Gegenstand, dessen Schwerpunkt ermittelt werden soll, auf eine scharfe Schneide und rückt denselben so lange hin und her, bis er im Gleichgewicht ist, d. h. nach keinerlei Seite zu fallen strebt, so liegt der Schwerpunkt des Körpers

Digitized by Google

gerade über der Schneide oder Unterstützungslinie. Ein mehrmaliges Auflegen des Gegenstandes und zwar auf verschiedene Seiten desselben giebt dann die genaue Lage des Schwerpunkts.

Oder man hängt den Körper nach einander in verschiedenen Punkten an einem biegsamen Faden oder einer Schnur auf und merkt sich in der gedachten Verlängerung des Fadens die Richtung der Aufhängelinien. Der Durchschnittspunkt dieser verlängerten Aufhängelinien oder Schwererichtungen ist der Schwerpunkt.

Bei einer geraden Linie, einer geraden überall gleich dicken und gleich dichten Stange ist der Schwerpunkt natürlich in der Mitte.

Eben so fällt der Schwerpunkt eines Quadrats, regelmäßigen Vielecks, eines Kreises oder einer Kugel mit dem Mittelpunkt zusammen, wenn die Flächen oder Körper durchweg gleichartig sind.

Bei Parallelogrammen ist der Schwerpunkt im Durchschnittspunkt der Diagonalen.

Bei Dreiecken liegt der Schwerpunkt in derjenigen Linie, welche man von der Mitte einer Seite auf die gegenüberliegende Spitze zieht, und zwar in einem Drittel der Länge dieser Linie, von der halbirten Seite aus gerechnet. Denn man braucht nur zwei solche Linien C D und B F (Fig. 22) zu ziehen, so ergiebt sich der Schwerpunkt S, welcher die bezeichnete Lage hat.

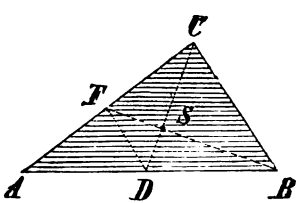


Fig. 22.

Will man den Schwerpunkt eines unregelmäßigen Vierecks, so zerlegt man dasselbe in zwei Dreiecke, und bestimmt deren Schwerpunkte. In der Verbindungslinie der Schwerpunkte beider Dreiecke ist der Schwerpunkt des Ganzen. Bildet man dann aus dem Viereck zwei andere Dreiecke und sucht deren Schwerpunkte, so erhält man eine zweite, den Schwerpunkt des Vierecks enthaltende Linie. Der Durchschnittspunkt dieser und der vorher gefundenen Linie ist der gesuchte Schwerpunkt.

Digitized by Google

Bei vieleckigen Figuren erhält man durch fortgesetzte Zerlegungen den Schwerpunkt auf ähnliche Weise.

Bei Prismen und Cylindern liegt der Schwerpunkt in der Mitte der Linie, welche die Mittel- oder eigentlich Schwerpunkte der beiden Grundflächen verbindet.

Bei Pyramiden und Kegeln befindet sich der Schwerpunkt in $^1/_4$ des Abstandes des Schwerpunktes der Grundfläche von der Spitze des Körpers.

49. Welchen Einfluß hat die Lage des Schwerpunktes, so wie das Gewicht eines Körpers auf die Standfähigkeit desselben?

Dieser Einfluß äußert sich in der Weise, daß ein Körper um so fester steht, oder eine um so größere Stabilität hat, je tiefer sein Schwerpunkt liegt, ferner je weiter eine vom Schwerpunkt gefällte Senkrechte vom Umfang der Unterstützungsfläche absteht, also je größer die Unterstützungsfläche ist; desgleichen steht ein Körper um so fester, je größer sein Gewicht ist.

Beispiele: Bei Wagen und Schiffen legt man die Hauptlast so tief als möglich (Ballast), Hollundermännchen ꝛc.; Stützmauern giebt man eine breite Basis; Strebepfeiler; festeres Stehen bei ausgespreizten Beinen ꝛc. ꝛc.

Fünftes Kapitel.

Von den Bewegungswiderständen.

---

50. Was für Widerstände oder Hindernisse, welche bei den vorkommenden Bewegungen zu überwinden sind, giebt es?

Es ist dies die Reibung, die Steifigkeit der Seile und der Widerstand der Luft und des Wassers. Die Reibung entspringt aus den Rauhigkeiten, welche bei zwei sich berührenden Körpern zahnartig ineinandergreifen und der Bewegung eines auf einer Unterlage gleitenden oder sich wälzenden Körpers einen gewissen Widerstand entgegensetzen.

Digitized by Google

Man unterscheidet gewöhnliche gleitende Reibung, Zapfenreibung und rollende Reibung. Letztere ist verhältnißmäßig nur gering.

51. Wovon ist die Reibung abhängig?

Die Reibung zwischen zwei Körpern ist natürlich um so größer, je rauher dieselben sind; darum hilft man dagegen durch Schmieren mit Oel, Fett ꝛc., womit die Unebenheiten ausgeglichen werden sollen.

Im Allgemeinen richtet sich die Reibung nur nach dem Druck, welcher zwischen den sich reibenden Körpern stattfindet. Je größer dieser Druck ist, um so größer ist die Reibung.

Die Größe der Berührungsflächen, so wie die Geschwindigkeit, mit welcher die Bewegung erfolgt, üben — so lange gewisse Grenzen nicht überschritten werden — keinen merkbaren Einfluß auf die Reibung aus; dagegen ist die Reibung nach längerer Berührung, also am Anfange einer Bewegung, größer, als während derselben. Die Ursache dieser Thatsachen ist, daß bei größerer Berührungsfläche auf die einzelnen Flächentheile ein geringerer Druck kommt und daß bei größerer Geschwindigkeit, wenn auch mehr Flächentheile sich berühren, das Eingreifen der Rauhigkeiten doch nicht so innig ist, als bei längerer Berührung.

52. Wie hat man das Verhältniß der Reibung zum stattfindenden Druck bestimmt?

Um die Größe der gleitenden Reibung zu erfahren, hat man Platten des zu untersuchenden Materials auf eine vollkommen horizontale Unterlage B gebracht und mit Gewichten A beschwert, wie Fig. 23 zeigt. An eine über eine leichtbewegliche Rolle C geschlungene Schnur hängt man eine Wagschale und beschwert sie mit Gewichten. Dasjenige Gewicht R nun, welches genügt, die Platte A in eine gleichförmige Bewegung zu versetzen, giebt die Größe der Reibung an.

Um die Größe der Zapfen- so wie der rollenden Reibung zu ermitteln, verfährt man, wie die Fig. 24 und 25 versinnlichen. Auf die genannte Weise ergab sich nun, daß, wenn ein Körper über den andern hingleitet, wie z. B. ein Schlitten ꝛc., die

Digitized by Google

Reibung zwischen Hölzern im trockenen Zustande durchschnittlich $^{36}/_{100}$ oder etwa $^{1}/_{3}$ des Druckes ist, den die Unterlage erleidet, mit Fett eingeschmiert beträgt die Reibung aber nur $^{7}/_{100}$.

Wenn Holz und Metall sich reiben, so beträgt die Reibung im Mittel und zwar trocken $^{4}/_{10}$ und mit Oel geschmiert $^{6}/_{100}$ des Druckes.

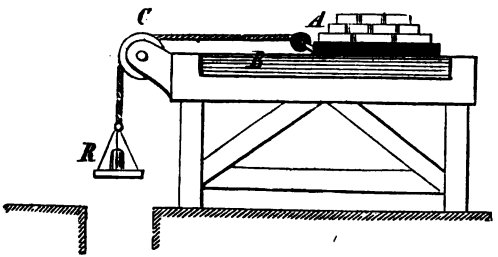


Fig. 23.

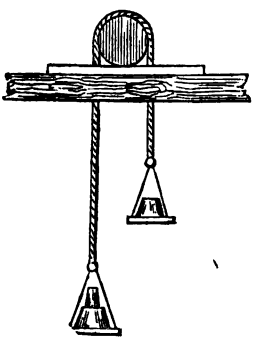


Fig. 24.

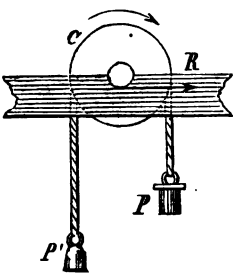


Fig. 25.

Wenn Metall auf Metall sich bewegt, ist die Reibung im trockenen Zustande $^{18}/_{100}$ und im geschmierten (Oel) $^{7}/_{100}$.

Die Zapfenreibung beträgt für den gewöhnlichen Fall, wenn eiserne Zapfen in Lagern von Messing, Bronce oder Gußeisen laufen, bei vorzüglicher Oelung $^{54}/_{1000}$ und bei gewöhnlicher Unterhaltung $^{7}/_{100}$ bis $^{8}/_{100}$ des Druckes.

Digitized by Google

Die wälzende oder rollende Reibung ist um so geringer, je größer der Durchmesser des sich wälzenden Körpers ist. Bei Ulmenholz und einem Durchmesser von 12″ fand man die Reibung $= 1/200$ des Druckes.

Die Bruchzahl, welche angiebt, der wievielste Theil die Reibung von dem auf die Unterlage ausgeübten Druck ist, nennt man Reibungscoefficient. Durch die Multiplication des Reibungscoefficienten mit dem Druck erhält man den Reibungswiderstand selbst.

Hätte also ein Wellzapfen einen Druck von 1000 k auszuhalten, so betrüge bei gewöhnlicher Art des Schmierens der Reibungswiderstand $\frac{8}{100} \cdot 1000 = 80$ k.

Es müßte also am Umfang des Zapfens eine Kraft von 80 k wirken, um die Reibung zu überwinden, d. h. um die leer gehende Welle ꝛc. in Umdrehung zu versetzen.

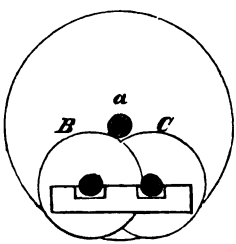


Fig. 26.

Fragte man, wie groß die zur Ueberwindung nöthige Kraft sein müßte, wenn solche nicht am Zapfen, sondern, wie es in Wirklichkeit der Fall ist, am Umfange der Welle oder eines Rades wirksam ist, so ergiebt sich aus Kapitel 3 Fr. 31 und 32, daß die Kraft alsdann so viel mal kleiner sein könnte, als der Wellen- oder Radhalbmesser größer ist, als der Zapfenhalbmesser.

53. Kann man die Reibung noch in anderer Weise, als durch Schmieren, verringern?

Ja, wenn man die gleitende Reibung in eine wälzende verwandelt, wie dies bei Anwendung der sogenannten Frictionsrollen Fig. 26 der Fall ist. Der Radzapfen a ruht hier, statt

Digitized by Google

in einem Lager, auf dem Umfange der Rollen B und C, welche bei der Drehung sich ebenfalls bewegen.

Frictionsrollen bei schweren Möbeln, Armstühlen, Pianos ꝛc., bei Krahnen u. s. w.

Umgekehrt aber auch wird oft, um eine Bewegung zu hemmen, durch Umwandlung der rollenden Reibung in eine gleitende der Reibungswiderstand verstärkt, wie z. B. beim Einlegen eines Radschuhes, beim Gebrauch der Bremsen an Wagen und Krahnen ꝛc., wodurch die Drehung eines Rades gehindert oder erschwert wird.

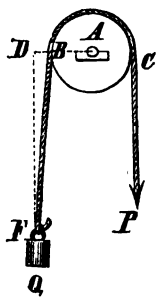


Fig. 27.

54. Inwiefern bietet die Steifigkeit der Seile einen Bewegungswiderstand?

Einfach deswegen, weil es, wenn man ein Seil um eine Rolle oder eine Welle legen will, eine gewisse Kraft, wenn auch keine gar große, braucht, nur um das Seil zu krümmen. Ein Seil, das über eine Rolle ꝛc. gelegt wird, nimmt nämlich ungefähr die Form Fig. 27 an, und je dicker das Seil und je weniger gebraucht es ist, um so mehr Kraft muß man anwenden, um die beiden Seilenden in eine parallele Lage zu bringen.

55. Nach was richtet sich der Luft- und Wasserwiderstand und in welchem Verhältniß nimmt derselbe zu?

Bewegt sich ein Körper in der Luft oder im Wasser, so hat er einen doppelten Widerstand zu überwinden. Einmal ist es die, wenn auch nur unbedeutende Reibung der einzelnen Flüssigkeitstheilchen, an welchen der Körper bei seiner Bewegung vorbeigleitet; dann aber ist es hauptsächlich der Umstand, daß die vom Körper getroffenen Flüssigkeitstheilchen durch den erfolgten Druck oder Stoß selber in Bewegung gesetzt werden.

Dieser letztere Widerstand ist es eigentlich nur, welcher in Berechnung kommt. Seine Größe wächst begreiflicherweise mit der Größe der anstoßenden oder sogenannten Stoßfläche, so wie

Digitized by Google

mit der Geschwindigkeit, mit welcher die getroffenen Flüssigkeitstheilchen bewegt werden.

Da bei doppelt so großer Stoßfläche auch doppelt so viel Flüssigkeitstheilchen getroffen werden, so ist dann auch der Widerstand ein doppelter. Wenn aber die Geschwindigkeit, mit welcher der Körper der Luft oder dem Wasser begegnet, die doppelte wird, so ist der Widerstand dann ein vierfacher und bei dreifacher Geschwindigkeit ein neunfacher u. s. w.

Dies kommt daher, daß bei doppelter Geschwindigkeit nicht blos doppelt so viel Flüssigkeit, also doppelte Masse (vergl. Kap. 2 Fr. 15), zu bewegen ist, sondern derselben auch die doppelte Geschwindigkeit mitgetheilt wird.

Den Luftwiderstand berechnet man nach der Formel: Widerstand $= 0{,}0735 . F . v . v$ Kilo, wobei die Fläche F und die Geschwindigkeit v in m auszudrücken sind. Es wäre also 0,0735 k der Widerstand auf 1 □m Fläche bei 1 m Geschwindigkeit.

Der Widerstand des Wassers ist für die gleichen Maße $= 52 . F . v . v$ Kilo.

Bei Eisenbahnzügen ist der Luftwiderstand gegen die Locomotive auf 1 □m Stoßfläche und 1 m Geschwindigkeit $= 0{,}122$ k,

somit bei 12 m Geschwindigkeit $= 12 . 12 . 0{,}122 = 17{,}6$ k

und „ 20 „ „ $= 20 . 20 . 0{,}122 = 48{,}8$ k.

Bei den angehängten Wagen ist der Widerstand geringer und beträgt nur etwa $^4/_{10}$ des genannten für die Locomotive zu rechnenden Widerstandes.

Als Stirn- oder Stoßfläche können für die Locomotive 8 Quadratmeter und für jeden Wagen 4 Quadratmeter gerechnet werden.

Unter der Geschwindigkeit, welche gerechnet werden muß, versteht man immer diejenige, mit welcher sich der Körper und Luft oder Wasser begegnen. Fährt ein Bahnzug z. B. in ruhiger Luft mit 12 m Geschwindigkeit, so ist die Stoßgeschwindigkeit auch 12 m; würde aber vermöge eines Sturmes die Luft mit 10 m gegen die Locomotive treffen, so wäre die Stoßgeschwindigkeit 22 m.

Digitized by Google

Sechstes Kapitel.

Von der Festigkeit der Körper.

56. Was versteht man unter der Festigkeit der Körper?

Man versteht darunter den Widerstand, welchen die verschiedenen in der Technik 2c. verwendeten Materialien den, eine Störung im Zusammenhang der einzelnen Theilchen oder eine Formveränderung der Körper erstrebenden Kräften entgegensetzen. Damit z. B. eine fest angespannte Kette nicht zerreißt, oder ein stark belasteter Balken nicht bricht, muß er genügende Festigkeit besitzen.

57. Haben alle Körper gegen die verschiedenen Arten der Einwirkung einer Kraft oder Last die gleiche Widerstandsfähigkeit?

Nein; es kommt sehr darauf an, in welcher Weise eine Kraft oder eine angebrachte Last den Körper zu zerstören oder zu brechen sucht.

Es kann z. B. ein Körper eine große Festigkeit gegen das Zerreißen und dagegen eine geringe gegen das Zerdrücken oder auch gegen das Abbrechen besitzen.

Man unterscheidet darum verschiedene und zwar im Ganzen fünf Arten von Festigkeiten, nämlich: Die Festigkeit gegen das Zerreißen (absolute Festigkeit), gegen das Zerdrücken (rückwirkende Festigkeit), gegen das Abbrechen (relative Festigkeit), gegen das Zerdrehen (Torsionsfestigkeit) und gegen das Abscheren (Schubfestigkeit).

58. Wie findet man die Größe der Festigkeit gegen das Zerreißen?

Weiß man aus Erfahrung, welche Last ein, an einem Ende aufgehängter Stab, ein Draht 2c., dessen Querschnitt 1 □cm 2c. 2c. ist, aushalten kann, bis ein Zerreißen erfolgt, so braucht man nur den in □cm ausgedrückten Querschnitt (die Fläche) eines beliebig dicken Körpers von gleichem Material mit jener, auf

Digitized by Google

1 cm kommenden Belastung zu multipliciren, denn die Tragfähigkeit richtet sich blos nach dem Querschnitt, d. h. ein Körper von 2- oder 3fachem Querschnitt trägt auch das Zwei- oder Dreifache 2c. 2c.

So z. B. kann 1 □cm Schmied- oder Stabeisen 3000 bis 4000 k aufnehmen, und es trägt also eine Stange, deren Querschnitt 30 □cm beträgt, 30 mal 3000 k.

1 □cm Tannenholz trägt 600—700 k; folglich würde eine Hängsäule von 400 □cm Querschnitt erst bei einer Last von $400 . 600 = 240000$ k brechen.

Für eine andauernde Belastung darf man Metallen nur $^1/_6$ und Hölzern nur $^1/_{10}$ der Last aufladen, bei welcher das Brechen eintritt.

Wollte man den nöthigen Querschnitt für eine gegebene aufzunehmende Last bestimmen, so müßte man die Last durch die auf 1 □cm kommende mögliche Belastung, d. i. durch den Festigkeitsmodul dividiren.

Soll z. B. eine tannene Hängsäule 20000 k für die Dauer tragen, so nehme man von oben genannten 600 k $^1/_{10}$ mit 60 k und dividire in 20000 k. Dies giebt als nöthigen Querdurchschnitt $\frac{20000}{60} = 333{,}3$ □cm; und es müßte also die Seite der quadratischen Hängesäule die Quadratwurzel aus 333 d. i. etwas über 18 cm betragen.

59. Wie ergiebt sich die Größe der rückwirkenden Festigkeit?

Die Größe der von einer Säule, einem Pfosten 2c., welche rückwirkende Festigkeit besitzen sollen, aufzunehmenden Last ergiebt sich ganz wie in vorigem Satz gesagt wurde; nur ist noch zu berücksichtigen, daß, wenn die Höhe des Körpers mehr als das Vier- oder Fünffache der Dicke beträgt, alsdann die Tragfähigkeit abnimmt.

So tragen z. B. Bauhölzer bei 12facher Höhe nur noch $^5/_6$ und bei 24facher Höhe nur noch $^1/_2$ dessen, was sie bei geringer Höhe vermöge ihres Querschnittes tragen könnten.

Gußeisen trägt bei 8facher Höhe nur noch die Hälfte.

Digitized by Google

Steine leisten bis etwa zu 12facher Höhe immer gleichen Widerstand und tragen bei 24facher Höhe noch $^2/_3$ und bei 30facher Höhe etwa $^1/_2$.

Da Tannenholz per 1 □cm für die Dauer nur 40 k als rückwirkende Festigkeit zugerechnet werden kann, so trägt darum ein quadratischer Pfosten von 20 cm Dicke und $4^1/_2$ m d. i. nahezu 24facher Höhe $\frac{20.20.40}{2} = 8000$ k.

60. Ist bei der Festigkeit gegen das Abbrechen Mehreres auch nicht zu berücksichtigen?

Doch. Wollte man nämlich bestimmen, bei welcher Last ein horizontal gelegter Balken bricht, so müßte nicht blos wie vorhin die Größe des Querschnittes bekannt sein, sondern es käme auch noch auf die Form des Querschnittes, auf die Lage des Balkens, auf die Art der Unterstützung und auf die Art der Belastung an.

So trägt z. B. ein Balken von rechteckigem Querschnitt, wenn er auf der schmalen Seite aufliegt, mehr, als wenn er auf der breiten Kante liegt, und zwar trägt er im ersten Falle mehr als ein Balken von gleichgroßem quadratischen Querschnitt, im zweiten Falle aber weniger.

Ferner trägt ein Balken, der an beiden Enden aufliegt und in der Mitte belastet ist, 4mal mehr, als er aufnehmen könnte, wenn er an einem Ende befestigt und am anderen belastet wäre. Und wäre die Last über den ganzen Balken vertheilt, so trüge der Balken sogar das Achtfache.

61. Welche Grundsätze gelten im Allgemeinen bezüglich der Brechungsfestigkeit?

Alle Körper, welche auf sogenannte relative Festigkeit in Anspruch genommen sind, wie z. B. Balken, Tragsteine, Balconträger ꝛc., tragen bei doppelter Breite (so nennt man die untere Stärke, wo der Körper aufliegt) auch doppelt soviel; bei doppelter Höhenkante oder Dicke trägt ein Balken ꝛc. aber das Vierfache, wogegen er bei doppelter Länge nur halb soviel trägt, als bei der einfachen.

Digitized by Google

Quadratische und runde Balken ꝛc., bei welchen Breite und Dicke gleich sind, tragen darum bei doppelter Stärke das 2 mal 4 oder 8fache, bei 3facher Breite und Dicke das 3.3.3 oder 27fache.

Um die Tragfähigkeit der Körper gegen Abbrechen zu bestimmen, bedarf es eines gewissen mathematischen Verständnisses. So berechnet man die Tragkraft eines viereckigen, an einem Ende befestigten und am andern Ende belasteten viereckigen Balkens nach der Formel $P = \frac{b.h^2}{l} \cdot \frac{K}{6}$, wobei P die aufzunehmende Last, b die Breite, h die Höhekante, l die Länge des Balkens und K den Festigkeitsmodul, d. i. die auf 1 □cm kommende Belastung bezeichnet.

Für einen an beiden Enden aufliegenden und gleichmäßig belasteten Balken wäre die aufzunehmende Last $P = 8 . \frac{b.h^2.K}{l . 6.}$

Für Laubholz ist der Festigkeitsmodul K = 650, für Nadelholz = 900 k, wovon für dauernde Belastung wieder nur $^1/_{10}$ gerechnet werden darf. Für Gußeisen und zwar für die Dauer ist K = 600 k und für Schmiedeeisen = 580 k.

Für andere, als rechteckige Querschnitte erhält man andere Festigkeits- oder Widerstandsformeln.

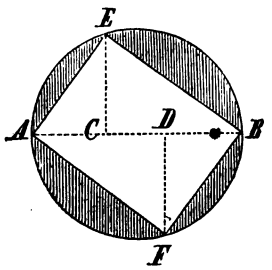


Fig. 28.

Bemerkt wird noch, daß Körper von hohlem, kreuz- oder T-förmigem Querschnitt bedeutend mehr tragen, als bei massivem Querschnitt von gleichem Inhalte.

62. Wie bildet man aus einem runden Stamm den stärksten viereckigen Balken?

Um den Querschnitt des stärksten viereckigen Balkens zu erhalten, theile man, wie in Fig. 28 ersichtlich ist, den Durchmesser des Stammes in drei gleiche Theile und errichte in den Theilpunkten C und D die Senkrechten CE und DF. Die Punkte AEBF sind dann

Digitized by Google

die vier Ecken des Querschnitts und es ist AEBF aus geometrischen Gründen ein Rechteck. FB ist dann die Breite und AF die Dicke (Höhenkante) des Balkens.

63. Wie bestimmt man die Größe der Drehungsfestigkeit?

Der Widerstand von Wellbäumen und Zapfen gegen das Zerdrehen richtet sich wie die Festigkeit gegen das Abbrechen auch nach den Kubikzahlen ihrer Dicken; d. h. ist ein Wellbaum 2mal dicker als ein anderer, so ist seine Widerstandsfähigkeit $2 . 2 . 2$ oder achtmal größer; bei dreifacher Dicke wäre die Festigkeit $3^3 =$ 27mal größer.

Die Größe der Kraft, welche die Zerdrehung hervorbringt, wird nach der Formel $P . a = \frac{3{,}14\ d^3}{16} . K$ berechnet, wobei P die Kraft, a der Abstand ihres Angriffspunktes von der Wellenaxe, d der Durchmesser der Welle und K der sogenannte Festigkeitsmodul ist. Letzterer ist für Eichenholz und per □cm = 280, für Buchenholz = 320, für Eschenholz = 480, für Schmiedeisen = 4500 und für Gußeisen 3000 k. Bei den auszuführenden Rechnungen nimmt man den Modul oder den auf die Flächeneinheit berechneten Widerstand bedeutend kleiner an und zwar bei Schmiedeisen nur $^1/_{20}$ und bei Gußeisen gar nur $^1/_{33}$ der obigen Zahlen.

64. Wie ergiebt sich die Schubfestigkeit?

Die Festigkeit gegen das Abscheeren oder Abschieben, welche Nieten und Bolzen in gehörigem Maße besitzen müssen, richtet sich einfach nur nach der Größe des Querschnittes. Weiß man, welcher Widerstand auf 1 □cm kommt, so darf man damit nur den Querschnitt multipliciren. Es gelten hierbei für diesen Widerstand (den Modul) die nämlichen Zahlenwerthe, wie für die Festigkeit gegen das Zerreißen.

Digitized by Google

Siebentes Kapitel.

Von den einfachen Maſchinen oder Maſchinenelementen.

65. Wie viele einfache oder Elementarmaſchinen giebt es?

Solcher eigentlichen Maſchinenelemente oder mechaniſchen Potenzen, wie ſie auch genannt werden, giebt es nur zwei: es iſt dies der Hebel und die ſchiefe Ebene.

Gewöhnlich werden deren aber ſechs aufgezählt, nämlich der Hebel, das Wellrad, die Rolle, die ſchiefe Ebene, der Keil und die Schraube.

Es ſind aber das Wellrad und die Rolle nur beſondere Formen des Hebels; eben ſo ſind der Keil und die Schraube beſondere Arten der ſchiefen Ebene.

66. Welchen Zweck kann man mit den Maſchinen und Maſchinenelementen erreichen?

Man kann durch eine Maſchine eine auf dieſelbe übertragene Kraftwirkung oder mechaniſche Arbeit ſo vermitteln, daß damit entweder eine ſehr große Laſt gehoben, ein bedeutender Druck hervorgebracht oder auch eine gewünſchte, beſtimmte Bewegung erzeugt werden kann.

Es kann alſo eine geringe, eine Maſchine in Gang ſetzende Kraft eine große Laſt, einen großen Widerſtand überwinden; oder auch es kann eine geringe der Maſchine durch die Betriebskraft mitgetheilte Bewegung vervielfältigt, vergrößert werden. Beides zugleich, nämlich eine Kraft- und Geſchwindigkeitsſteigerung, kann aber nicht erreicht werden.

Eine Maſchine kann nämlich an ſich keinerlei Wirkung oder mechaniſche Arbeit vollbringen, ſondern ſie kann nur die Wirkung, welche durch die Triebkraft verrichtet wird, zweckmäßig übertragen. Da nun aber die mechaniſche Arbeit oder Leiſtungsfähigkeit (nach Kapitel 2 Fr. 17) von der Größe der Kraft und dem bei der Wirkung zurückgelegten Wege gleichmäßig abhängig und immerhin durch das Product aus der Kraft P und dem

Digitized by Google

zurückgelegten Weg s, also durch den Werth P.s ausgedrückt ist; so folgt hieraus, daß, wenn man mit einer Maschine eine bedeutende Last in die Höhe heben wollte, dies nur so geschehen könnte, daß die Last alsdann sich genau sovielmal langsamer bewegt, als der Punkt, wo die Kraft angreift. Und umgekehrt, wenn man durch die Maschine eine bedeutende Geschwindigkeitssteigerung erreichen wollte, so könnte dies nur der Fall sein, wenn der am Ende zu überwindende Widerstand im gleichen Verhältnisse geringer als die Triebkraft wäre.

67. Wie heißt darum das Grundgesetz, welches bezüglich der Wirkungsfähigkeit einer jeden Maschine gilt?

Dieses wichtige Gesetz, das überhaupt und überall zur Geltung kommt, wo man mit dem Aufwande irgend einer Kraft einen Widerstand überwinden will, heißt:

Eine Maschine kann nur Arbeit abgeben oder übertragen, wenn sie vorher solche empfangen hat, und es kann die abgegebene Arbeit nie größer sein, als die empfangene, wohl aber ist dieselbe, wegen der nie ganz zu beseitigenden Bewegungshindernisse, immerhin eine geringere, als die ursprünglich aufgenommene Wirkungsgröße*).

Es ist darum stets, wenn P die Kraft und s den Weg bezeichnet, auf welchem die Kraft thätig ist, und wenn Q die Last und s' den von derselben gleichzeitig zurückgelegten Weg bedeutet,

$$P.s = Q.s',$$

d. h. die Arbeit der Kraft ist stets der durch Ueberwindung der Last Q verrichteten Arbeitsgröße gleich.

Man kann auch sagen $P:Q = s':s$, d. h. die Kraft verhält sich der Größe nach zur Last, wie umgekehrt der Weg der Last zu dem Wege der Kraft.

Darum ist der Lastweg gerade so vielmal kleiner als der Kraftweg, als die Last größer ist als die Kraft; man verliert

*) Aus dem Gesagten ergiebt sich, daß die Erfindung eines Perpetuum mobile unmöglich ist, da jede von einer Maschine anfänglich aufgenommene Arbeit durch Ueberwindung der Widerstände aufgebraucht wird.

Digitized by Google

also bei Anwendung von Maschinen gerade soviel an Geschwindigkeit, also auch an Zeit, als man an Kraft gewinnt.

Man sagt auch: die Arbeit der bewegenden Kraft muß der Arbeit der widerstehenden Kraft gleich sein; oder jede Wirkung ist ihrer Gegenwirkung gleich.

Dieses Grundgesetz über die Wirkung einer jeden Maschine findet nun überall Anwendung; jedoch giebt man demselben oft und bei einzelnen Maschinengattungen, wie man sehen wird, einen besonderen Ausdruck.

I. Der Hebel.

68. Was versteht man unter einem Hebel?

Jeder in einem festen Punkte unterstützte unbiegsame Körper, an welchem Kräfte wirken, welche denselben um den genannten Punkt zu drehen suchen, ist ein Hebel. In der gewöhnlichsten Form besteht der Hebel aber aus festen, geraden Linien (Stangen) — den Hebelarmen —, welche die Angriffspunkte der Kräfte mit dem Stützpunkte verbinden.

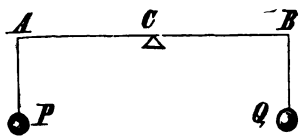


Fig. 29.

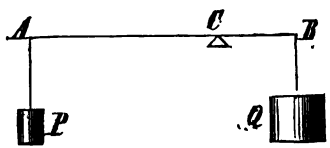


Fig. 30.

69. Welche Hebelarten unterscheidet man?

Man unterscheidet geradlinig gleicharmige Hebel, Fig. 29, und ungleicharmige, Fig. 30; ferner zweiarmige, wie die genannten sind,

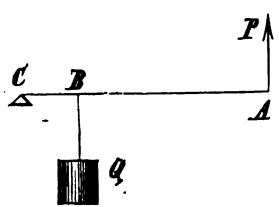


Fig. 31.

Digitized by Google

und einarmige Hebel, Fig. 31; endlich nennt man einen Hebel, Fig. 32, dessen Arme einen Winkel bilden, Winkelhebel.

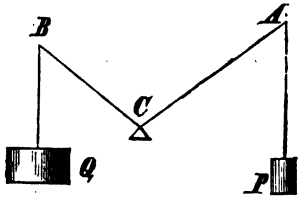


Fig. 32.

70. In welchem Verhältniß müssen zwei Kräfte, welche an einem Hebel wirken — oder Kraft und Last — stehen, wenn Gleichgewicht bestehen soll?

Am gleicharmigen Hebel müssen natürlich Kraft und Last gleich sein; am ungleicharmigen Fig. 30 muß aber (nach Kap. 3 Fr. 32 und 33) die Last Q gerade so vielmal größer sein als die Kraft P, als ihr Hebelarm BC kleiner ist, als der Hebelarm AC der Kraft. Wäre also AC 4mal größer als BC, so könnte die Kraft P eine 4mal größere Last Q ins Gleichgewicht bringen.

Kraft und Last verhalten sich also immer umgekehrt, wie ihre Hebelarme, d. h. so vielmal die Last größer sein soll als die Kraft, genau so vielmal muß ihr Hebelarm kleiner sein, als der der Kraft.

Hieraus ergiebt sich auch und zwar nach Fr. 32 und 33 der Satz:

Am Hebel ist Gleichgewicht, wenn die statischen Momente der Kraft und Last gleich sind.

Betrüge also in Fig. 33 die in B angebrachte Last 200 k und wären die Entfernungen vom Stützpunkte AC = 16, und BC = 2, so müßte die in A wirksame Kraft $^1/_8$ von 200 = 25 k sein.

Fig. 33.

Wirken an einem Hebel mehr als zwei Kräfte, so bildet man, wie in Kap. 3 Fr. 34 gesagt ist, die statischen Momente jeder Kraft, d. h. man multiplicirt jede Kraft mit ihrem

Digitized by Google

Hebelarm und addirt die erhaltenen Producte (statischen Momente) der auf die gleiche Seite wirkenden Kräfte. Fürs Gleichgewicht müssen diese Summen dann gleich sein.

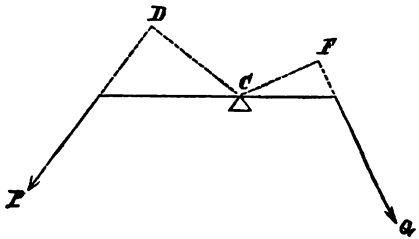


Fig. 34.

Wirken die Kräfte wie in Fig. 34 oder an einem Winkelhebel Fig. 35, so muß man die rechtwinklige Entfernung DC und FC in Rechnung nehmen.

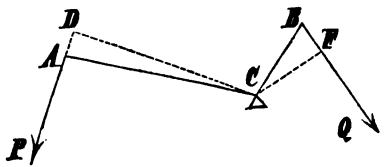


Fig. 35.

Bei einem einarmigen Hebel von der Art wie Fig. 36 zeigt, z. B. beim Stroh-, Tabak-, Zuckerhackmesser, Nußknacker, der menschlichen Kinnlade ꝛc. ꝛc., kann also in B ein um so größerer Druck ausgeübt werden, je kürzer die Entfernung BC ist; denn es ist immerhin der Druck in B das Sovielfache der Kraft P, als BC in AC enthalten ist. (Es ist hierbei nicht zu übersehen, daß die Entfernungen oder Hebelarme stets vom Stützpunkte C aus gerechnet werden müssen!)

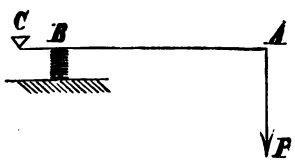


Fig. 36.

Für eine, vermittelst des einarmigen Hebels AC Fig. 37 betriebene Pumpe erhält man den durch die Kolbenstange auf den Kolben übertragenen Druck, indem man die Triebkraft 64 mit der Länge AC und das eigene Gewicht 20 des Hebels mit dem Abstande CS des Schwerpunktes vom Stützpunkte multiplicirt.

Digitized by Google

beide erhaltene Zahlen addirt und durch die Entfernung B C dividirt. Ohne Berücksichtigung des eigenen Gewichtes des Hebels ergäbe sich einfach, daß der Druck auf den Kolben so vielmal 64 k wäre, als B C in A C enthalten ist.

Und tragen Zwei eine Last wie in Fig. 38, so hat der in B Angreifende so vielmal mehr zu tragen, als der Andere, als BC in AC enthalten ist.

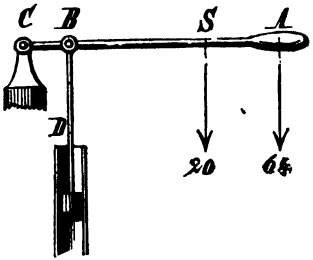


Fig. 37.

Die Uebereinstimmung der sogenannten Hebelgesetze mit dem in Fr. 67 aufgestellten, allgemein gültigen Grundgesetz, so wie überhaupt die Uebereinstimmung des Satzes über die statischen Momente mit dem über die verrichtete mechanische Arbeitsgröße zeigt ein Blick auf die bildlichen Darstellungen. Es ist nämlich klar, daß bei einer eingetretenen Drehung um den Stützpunkt der Lastpunkt B in Fig. 33 einen gerade so vielmal kleineren Weg als der Kraftpunkt A macht, als der Hebelarm B C in A C enthalten ist. Es stellt sich also das gleiche Resultat heraus, ob Kraft und Last mit den zurückgelegten Wegen oder mit den zugehörigen Abständen vom Drehpunkte multiplicirt werden.

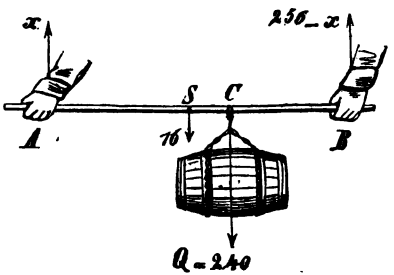


Fig. 38.

Digitized by Google

71. Hat der Hebel viele Anwendung?

O ja; den bereits genannten sind noch anzufügen: Die Hebe- und Brecheisen, die Hebelade, die Scheeren und Zangen, die Ruder, ferner die Wagen; sodann lassen sich, wie schon bemerkt wurde, die Wirkungsweisen der Wellräder (Zahnräder) und Rollen (Flaschenzüge) ganz auf die des Hebels zurückführen; endlich beruht die Wirkung unserer Gliedmaßen ꝛc. ganz auf den für den Hebel gültigen Gesetzen. Ueberhaupt ist der Hebel die am meisten zur Anwendung gelangende Maschine.

II. Das Wellrad.

72. Was ist ein Wellrad?

Das Wellrad oder Rad an der Welle besteht aus einer Walze oder einem regelmäßigen Prisma — der Welle — und einem Rade oder auch angebrachten Armen oder Kurbeln, an welchen Kräfte wirken, welche die Maschine in Umdrehung versetzen. Die Welle oder der Wellbaum selbst ruht vermittelst Zapfen in Lagern.

Gewöhnlich wickelt sich beim Betriebe ein Seil, an welchem eine Last hängt, auf den Wellbaum auf. Doch kann die Anwendung des Wellrades auch eine andere sein.

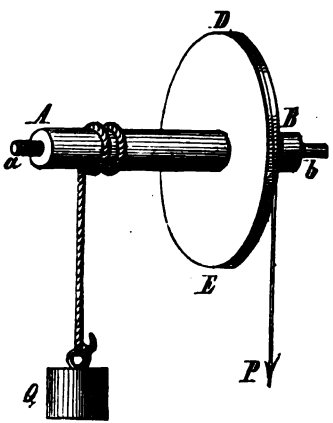


Fig. 39.

Hat die Welle eine horizontale Lage, so giebt man dem Wellrade den Namen Haspel; ist die Welle aber vertical, so heißt die Maschine Winde oder Göpel.

73. In welcher Weise unterscheidet man die Wellräder noch?

Wirkt die Kraft P an einem Seil, welches über

Digitized by Google

ein Rad DBE geschlungen ist, wie in Fig. 39, so heißt die Maschine Seilrad; ist die Kraft aber an Hebelarmen thätig, wie in Fig. 40, so nennt man die Vorrichtung einen Kreuzhaspel. Weitere Formen sind sodann der Kurbelhaspel (Fig. 41), das Tretrad (Fig. 42), das Sprossenrad (Fig. 43), und das Laufrad (Fig. 44). Bei den drei letzteren Maschinen ist das Gewicht des arbeitenden Menschen oder Thieres die treibende Kraft.

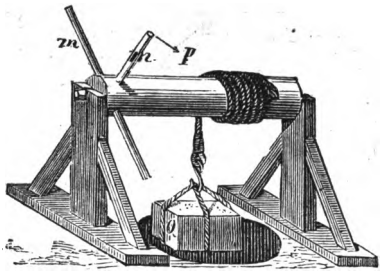


Fig. 40.

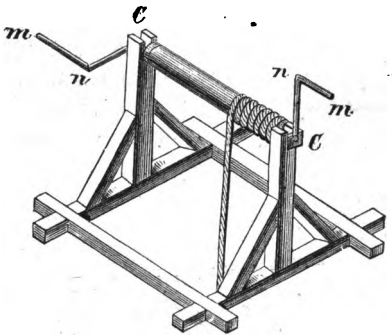


Fig. 41.

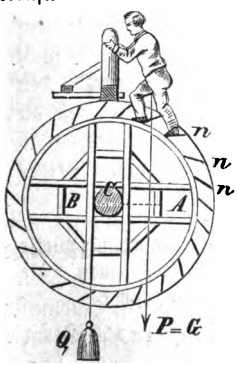


Fig. 42.

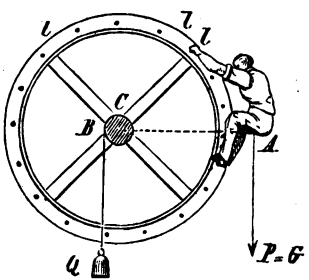


Fig. 43.

Digitized by Google

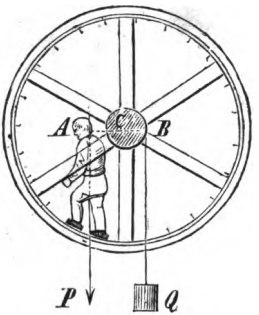


Fig. 44.

Arten des Göpels sind die Erdwinde oder Laufspille (Fig. 45) und der Pferdegöpel (Fig. 46).

74. Wie ergiebt sich bei den Wellrädern das Verhältniß zwischen Kraft und Last?

Ganz einfach. Wie obige Figuren und wie insbesondere Fig. 47 zeigt, ist das Wellrad nichts Anderes, als ein ungleichförmiger Hebel, dessen Stützpunkt in der Mittellinie oder Achse der Welle liegt. Die Last wirkt stets am Umfange der Welle, hat also den Wellenhalbmesser als Hebelarm, die Kraft dagegen ist an einem größeren Hebelarm und zwar in allen Fällen am Umfange eines Kreises von

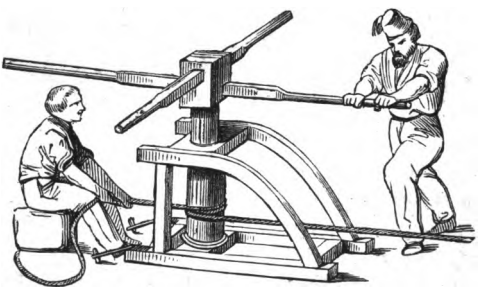


Fig. 45.

größerem Halbmesser wirksam; da der Kraftangriffspunkt auch einen Kreis wie Fig. 47 in den Fällen beschreibt, wo die Kraft an einer Kurbel oder einem Hebel wirkt.

Der Hebelarm der Kraft ist also immerhin ein Halbmesser A C (Fig. 47) oder es ist die Länge der Arme m (Fig. 40), die Kurbellänge n C (Fig. 41) u. s. w.

Digitized by Google

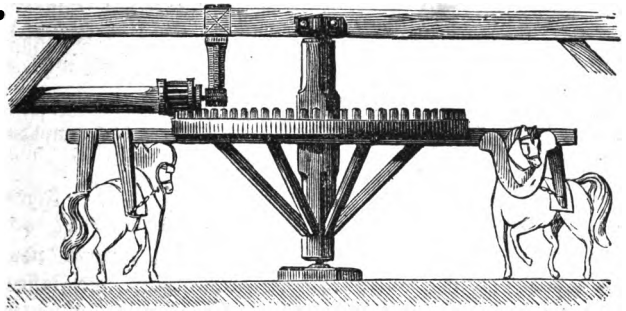


Fig. 46.

Nach Früherem beträgt darum die Last Q (Fig. 47) stets das Sovielfache der Kraft P, als der Wellenhalbmesser r im Halbmesser A C = R enthalten ist.

Es ist also $P \cdot R = Q \cdot r$

also $P = \frac{r}{R} \cdot Q$

und $Q = \frac{R}{r} \cdot P.$

Bei einem Kurbelhaspel ist die Länge der Kurbel gewöhnlich, der menschlichen Armlänge entsprechend, 45 cm und die Triebkraft eines Mannes bei dauernder Arbeit = 8 k. Somit könnte ein Mann vermittelst einer solchen einfachen Maschine, wenn die halbe Wellendicke 5 cm betrüge, eine Last von $\frac{45}{5}$ mal $8 = 9.8$ oder 72 k und zwar während längerer Arbeit in die Höhe ziehen.

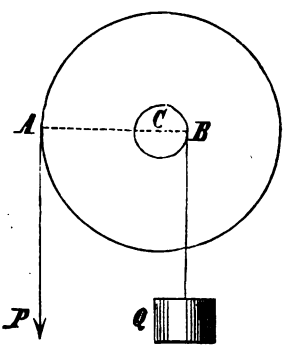


Fig. 47.

Digitized by Google

Beim Wellrad müssen aber die Bewegungshindernisse, nämlich die Zapfenreibung, und die Seilsteifigkeit stets berücksichtigt werden. Diese betragen etwa $^1/_4$—$^1/_5$ der Last und müssen darum an obigen 72 k in Abzug gebracht werden.

Auch hier ergiebt sich leicht, wie beim Hebel, daß die von Kraft und Last zurückgelegten Wege sich wie die Umfänge, also auch wie die Halbmesser der betreffenden Kreise verhalten.

75. Wo findet das Wellrad hauptsächlich Anwendung?

Außer den bereits genannten verschiedenen Formen von Wellrädern sind insbesondere auch die Riemenrollen und Zahnräder Anwendungen derselben. Wo ferner durch, an Wellbäumen angebrachte Daumen und Zähne Hammer- und Schlagwerke, Pochstempel ꝛc. in Bewegung gesetzt werden, hat man es immer mit einem Wellrade zu thun.

III. Die Rolle.

76. Was nennt man eine Rolle?

Die Rolle ist eine, um ihre durch den Mittelpunkt gehende Axe bewegliche Kreisscheibe, welche auf ihrem Umfange eine Rinne hat, um ein Seil aufzunehmen, an dessen Enden Kräfte, oder Kraft und Last, thätig sind. Bei der einen Art Rolle ist die Last im Mittelpunkt der Rolle aufgehängt.

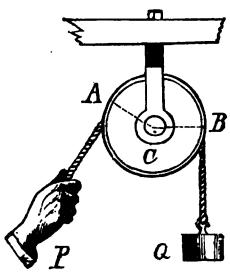


Fig. 48.

77. Giebt es verschiedene Arten von Rollen?

Ja, man unterscheidet die feste und die lose Rolle. Die feste Rolle (Fig. 48) ist keine eigentliche mechanische Potenz, d. h. man kann vermittelst derselben keine Kraftsteigerung erreichen, da auch ohne Bewegungshindernisse Kraft und Last gleichgroß sein müssen. Sie dient blos dazu, der Kraftwirkung eine gewünschte, zweckdienliche Richtung zu geben.

Digitized by Google

Darum auch nennt man diese Rolle Leit- oder Richtungsrolle. Feste Rolle wird sie genannt, weil der Drehpunkt fest oder unbeweglich d. h. immer an einem und demselben Orte bleibt.

Bei der losen oder Zugrolle AB (Fig. 49 und 50) ist dies anders. Dieselbe hebt sich mit der in ihrer Mitte C aufgehängten Last. Durch diese erreicht man einen sogenannten Kraftgewinn.

78. Wie groß ist der Kraftgewinn bei der losen Rolle?

Wie ein Blick auf die Fig. 49 und 50 zeigt, wird die lose Rolle AB mit der Last Q von den beiden Seilenden x und y getragen. Es ist darum klar, daß der in jedem Seilende aus-

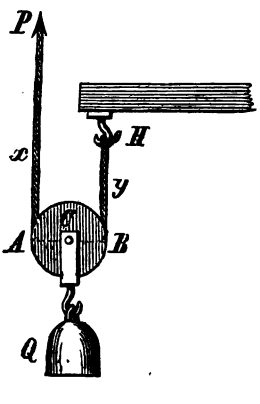


Fig. 49.

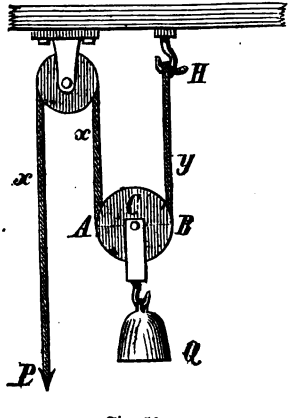


Fig. 50.

geübte Zug die Hälfte der Last Q beträgt. Die eine Hälfte nimmt der Haken H auf, die andere Hälfte aber muß durch die direct entgegenwirkende Kraft P überwunden werden.

Es ist also die Last Q stets doppelt so groß als die Kraft P, oder die Kraft ist die Hälfte der Last.

Digitized by Google

Mit Berücksichtigung der Reibung und Seilsteifigkeit gestaltet sich freilich auch hier die Sache etwas anders, so zwar, daß in Wirklichkeit nicht völlig die doppelte Last gehoben werden kann.

79. Wo finden die Rollen Anwendung?

An sich schon dient die einfache Rolle zum Aufziehen von Lasten; sodann hat die feste Rolle mannigfache Anwendung als sogenannte Leit- und Frictionsrolle, vermittelst deren eine Reibungsverminderung erreicht wird. Vorzugsweise aber sehen wir das genannte Maschinenelement angewendet bei den Rollen- und Flaschenzügen.

IV. Die schiefe Ebene.

80. Was versteht man unter der schiefen Ebene?

Wie schon oben in Kapitel 3 Fr. 41 die Rede war, versteht man darunter eine ebene Fläche, welche weder horizontal noch vertical, sondern schief oder geneigt ist. Arten von schiefen Ebenen können nicht unterschieden werden. Als zur Ueberwindung eines Widerstandes oder einer Last dienende Maschine betrachtet, gelangt man zu der Frage:

81. Wie muß für den Gleichgewichtszustand das Verhältniß zwischen einer auf der schiefen Ebene befindlichen Last und der an der Last wirksamen Zugkraft sein?

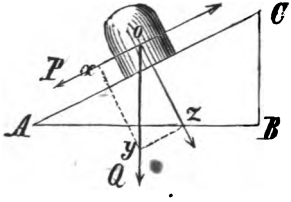


Fig. 51.

Um diese Frage zu beantworten, muß man zuerst unterscheiden, nach welcher Richtung die Kraft wirkt. Dabei sind zwei Hauptfälle zu unterscheiden. Es wirkt die bewegende Kraft nämlich in den gewöhnlich vorkommenden Fällen entweder parallel zur Länge AC (Fig. 51) der schiefen Ebene oder parallel zur Grundlinie oder Basis AB.

Digitized by Google

Im ersten Fall ergiebt sich, wie die Figur 51 zeigt und wie Fr. 41 Kapitel 3 näher ausgeführt wurde, durch Zerlegung des Gewichtes oder der Last Q, daß die in der Richtung der schiefen Ebene abwärtstreibende Seitenkraft P der sovielte Theil der Last Q, als die Höhe BC in der Länge AC enthalten ist.

Somit muß auch die in der Richtung der schiefen Ebene aufwärtswirkende Kraft, welche die Bewegung der Last verhindern, mit dieser also im Gleichgewicht sein soll, eben so groß wie jene abwärtstreibende Kraft P sein.

Bei einer geneigten Ebene, welche auf 100 cm Länge 10 cm Höhe hätte, wäre also, ohne Reibung, die zum Gleichgewicht nöthige Kraft $^{10}/_{100}$ oder $^{1}/_{10}$ der Last.

Allgemein ist, wenn h die Höhe und l die Länge der schiefen Ebene bezeichnet,

$$P = \frac{h}{l} \cdot Q,$$

oder es verhält sich die Kraft zur Last, wie die Höhe zur Länge.

Entsprechend dem allgemeinen Grundgesetz ist aber auch der Weg der Kraft = l, während die Last Q indessen auf die Höhe h gehoben wird.

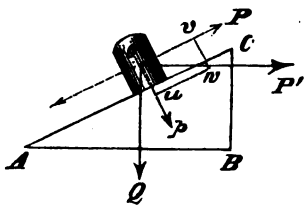


Fig. 52.

Wirkt die Kraft parallel zur Grundlinie AB (Fig. 52), so geht ein Theil der Kraftwirkung verloren, wie die Kräftezerlegung zeigt. Dieser durch ou ausgedrückte Theil erzeugt einen Druck auf die schiefe Ebene; die eigentliche, nach aufwärts gerichtete Zugkraft wird durch ov angezeigt. Hieraus ergiebt sich, daß die parallel zur Grundlinie AB = b wirkende Kraft P' größer sein muß, als eine parallel zur Länge gerichtete Kraft P. Eine kurze geometrische Betrachtung ergiebt, daß

$$P' = \frac{h}{b} \cdot Q \text{ ist,}$$

Digitized by Google

oder es verhält sich in diesem Falle die Kraft zur Last, wie die Höhe zur Grundlinie.

82. Wo kommen die Gesetze der schiefen Ebene zur Anwendung?

Es gilt dies hauptsächlich bei Straßen und Eisenbahnen, insofern solche ansteigen; ferner bei Rampen, Treppen und Leitern.

Handelt es sich darum, die Zugkraft zu finden, welche auf ersteren zum Auf-, wie Abwärtsziehen nöthig ist, so braucht man nur die Größe der Reibungswiderstände zu wissen. Diese betragen bei einer sehr guten Straße nur $^1/_{50}$, bei einer ziemlich guten etwa $^1/_{30}$ und bei einer sehr schlechten $^1/_{13}$ der Last.

Auf Eisenbahnen betragen bei gewöhnlicher Fahrgeschwindigkeit die Widerstände $^1/_{200}$ der ganzen Belastung.

Bei einer mittelguten Straße von 4 % Steigung, d. h. einer solchen, welche auf 100 m Länge um 4 m steigt, braucht man also, um 120 Centner aufwärts zu ziehen:

1) vermöge der Steigung $\frac{4}{100} \cdot 120 = 4{,}8$ Ctr.,

2) vermöge der Reibung $\frac{120}{30} = 4$ Ctr.,

zusammen 8,8 Ctr. = 440 k, was sechs Pferde auch bei andauernder Arbeit zu leisten vermöchten, da die mittlere Zugkraft eines solchen 75 k beträgt.

Zum Abwärtsbewegen braucht man nur Kraft, wenn der Reibungswiderstand größer ist, als die in der Last wirksame abwärtstreibende Kraft.

In obigem Beispiele ist letztere Kraft 240 k und der Reibungswiderstand nur 200 k. Man müßte also noch eine Kraft von 40 k anbringen, um nur zu verhindern, daß der Wagen nicht von selbst abwärts geht.

Bei einer Eisenbahn, welche $^1/_2$ % Steigung hat, wäre der vermöge der Steigung zu überwindende Widerstand $^1/_{200}$ der ganzen Last. Der Reibungswiderstand beträgt ebenfalls, wie oben gesagt ist, $^1/_{200}$.

Digitized by Google

Somit braucht man zum Berganfahren gerade die doppelte Kraft wie auf horizontaler Bahn.

Zum Bergabfahren braucht man gar keine Kraft und zum Anhalten auch keine.

Gewöhnliche Kunststraßen erhalten nur im Nothfalle Steigungen von mehr als 5—7%; in der Regel ist solche viel geringer. Die Steigungen der Eisenbahnen sind meistens ziemlich weniger als 1%; in Gebirgsgegenden kommen aber solche von 2—2½% und noch mehr vor. Bei Bahnen, wie z. B. bei der Mont-Cenis- und Rigibahn, wo die Steigung bedeutend größer ist, verlangt es besondere Einrichtungen der Bahnen und Wagen.

V. Der Keil.

83. Wie ist ein Keil beschaffen?

Ein Keil (Fig. 53 und 54) entsteht, wenn zwei gleiche schiefe Ebenen ADC und DCB mit ihren Grundlinien an einander gelegt werden. AC wird die Länge oder Seite, DC die Höhe und AB der Rücken des Keils genannt.

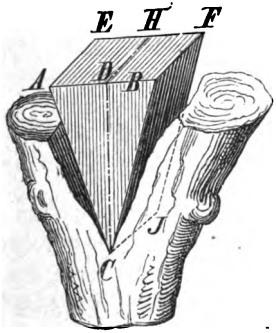


Fig. 53.

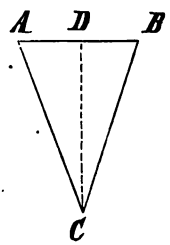


Fig. 54.

Angewendet wird der Keil so, daß auf den Rücken desselben eine Kraft wirkt, welche Widerstände, die gegen die Seite des Keils wirken, überwinden soll.

Digitized by Google

84. Wie ergiebt sich die Größe des von der Kraft zu überwindenden Widerstandes?

Aus der Aehnlichkeit des Keils mit der schiefen Ebene ergeben sich auch hier zwei Fälle, welche mit den bei der schiefen Ebene besprochenen ganz übereinstimmen. Es kann nämlich der Widerstand, wie Fig. 55 zeigt, senkrecht auf die Seite des Keils wirken. In diesem Falle verhält sich, wie bei der schiefen Ebene, die Kraft zum Widerstande, wie der Rücken des Keils zu dessen Seite; d. h. der überwundene Widerstand ist so viel mal größer als die Kraft, als der Rücken AB in der Seite AC enthalten ist.

Der Widerstand kann aber auch in einer Richtung zu überwinden sein, welche senkrecht zur Höhe des Keiles ist, wie Fig. 56 zeigt.

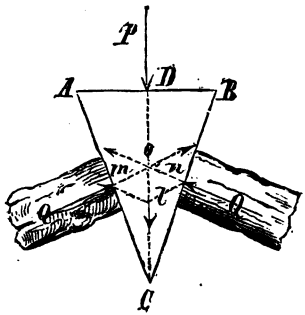


Fig. 55.

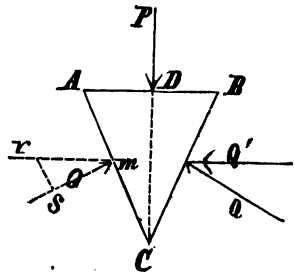


Fig. 56.

Wenn dieses eintritt, dann verhält sich die Kraft zur Last, wie der Rücken des Keiles zur Höhe desselben.

Es ist also der Widerstand, der überwunden werden kann, im letzteren Falle, wie sich von selbst versteht, geringer als im ersten.

Wird der Keil vollständig zwischen zwei Widerstände eingetrieben, so war die Kraft auf einem Wege thätig, welcher der

Digitized by Google

Keilhöhe gleich ist; der Widerstand wurde aber nur auf einer Strecke, die so groß wie der Rücken ist, überwunden. Somit zeigt sich auch hier, wie überall, die Uebereinstimmung mit dem allgemeinen Gesetz, daß Kraft und Last sich umgekehrt verhalten, wie ihre Wege.

85. Wo findet der Keil Anwendung?

Als Maschine findet der Keil Anwendung bei der Keilpresse, ferner als Hebezeug auf Schiffswerften, sodann zum Trennen von Holz und Steinen. Die meiste Anwendung hat derselbe aber als Werkzeug, nämlich als Schneid- und Stechwerkzeug, Messer, Beil, Nadel, Stemmeisen. Gemäß den wiederholt angeführten Wirkungsgesetzen ergiebt sich, daß die genannten Werkzeuge um so mehr ihrem Zweck entsprechen, je schärfer und spitziger solche sind, d. h. je öfter die Größe des Rückens in der der Seite oder der Höhe enthalten ist.

VI. Die Schraube.

86. Wie entsteht eine Schraube?

Wenn ein Punkt a so um einen Cylinder herumgeführt wird, daß er immer gleichmäßig aufwärts steigt, wie Fig. 57 S. 68 zeigt, daß also seine Richtung immer den gleichen Neigungswinkel behält, so beschreibt er eine Schraubenlinie abcdefghikl..... Denkt man sich, es werde längs dieser Linie ein biegsamer prismatischer Körper um den genannten Cylinder gewickelt, so entsteht ein Schraubengewinde. Das Ganze heißt dann eine Schraube und der fragliche Cylinder ist die Schraubenspindel.

Wäre der genannte prismatische Körper dreiseitig, so entstünde die scharfe Schraube Fig. 58 S. 68; wäre er ein vierseitiger, so entstünde die flache oder viereckige Schraube Fig. 59.

Jede Schraube bewegt sich in einem entsprechenden hohlen Gewinde, das man die Schraubenmutter nennt, welche in den beiden genannten Figuren dargestellt ist.

Digitized by Google

Jenachdem das Gewinde von der linken nach der rechten Seite oder umgekehrt geführt ist, unterscheidet man rechte und linke Schrauben.

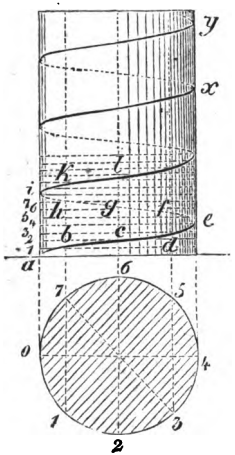


Fig. 57.

Die Schrauben sind ferner eingängig, zwei- oder mehrgängig, jenachdem sich ein, zwei oder mehr Schraubengewinde von der Grundfläche der Spindel an um dieselbe aufwickeln.

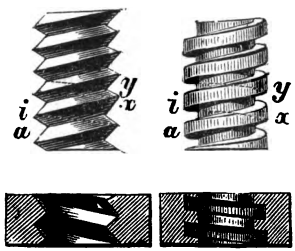


Fig. 58. Fig. 59.

Die senkrechte Entfernung a i, um welche in Fig. 57 der Punkt a nach einem Umgange in die Höhe gestiegen ist, heißt die Ganghöhe oder Steigung der Schraube.

In den Figuren 58 und 59 bezeichnen a i und x y die Ganghöhen.

87. Wie findet man die Wirkungsgröße einer Schraube?

Denkt man sich, man wollte vermittelst einer Schraube eine angehängte Last Q, wie Fig. 60 darstellt, heben, so braucht man sich nur klar zu machen, daß, während in Folge der an den Armen A C und B C wirksamen Kraft die Schraube eine Umdrehung macht, das Gewinde um eine Ganghöhe aufwärts geschraubt wird. Während also der Kraftangriffspunkt A den Umfang eines Kreises beschreibt, wird die Last um ein Stück gehoben, welches der Ganghöhe gleich ist.

Digitized by Google

Wird aber vermittelst einer Schraube ein Druck auf einen untergelegten Körper ausgeübt, wie es in der Anwendung meistens der Fall ist, und wie Fig. 61 zeigt, so verhält es sich gerade wie vorhin; es wird nämlich bei einer Umdrehung der Schraube der gegen dieselbe wirkende Widerstand wieder auf einem Wege überwunden, welcher gleich der Ganghöhe ist.

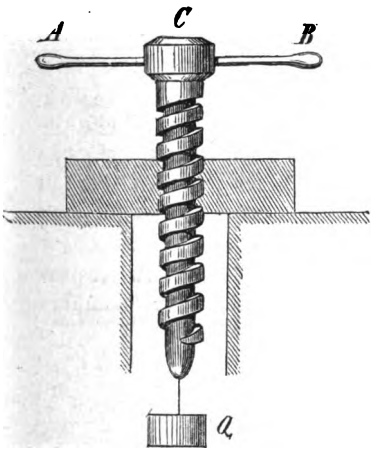


Fig. 60.

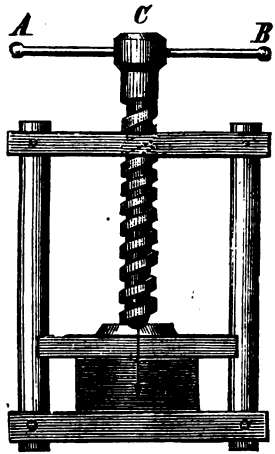


Fig. 61.

Man sieht darum, daß bei allen Wirkungen der Schraube das am Eingange des Kapitels genannte allgemeine, für den Gleichgewichtszustand gültige Grundgesetz: „Die Kraft verhält sich zur überwundenen Last, wie der Lastweg zum Kraftweg" direct angewendet werden kann. Da nun der Weg, auf welchem die Triebkraft wirkt, der mit dem Halbmesser A C beschriebene Kreisumfang, der Weg der Last aber die Ganghöhe ist, so verhält sich bei der Schraube die Kraft zur Last, wie die Ganghöhe zu dem Umfange des vom Kraftangriffspunkt beschriebenen Kreises.

Digitized by Google

Daraus folgt, daß, wenn R den genannten Halbmesser AC und h die Ganghöhe bezeichnet, die Kraft

$$P = \frac{h}{2 . 3{,}14 . R} \cdot Q \text{ und } Q = \frac{2 . 3{,}14 . R}{h} . P \text{ ist.}$$

Vermittelst einer Schraube, deren Ganghöhe 2 cm betrüge, könnten also, wenn, wie bei einem Schraubstock, an den 20 cm langen Armen zwei Kräfte von je 10 k wirkten, ein Widerstand überwunden oder ein Druck erzeugt werden, welcher $Q = \frac{2 . 3{,}14 . 20}{2} . 20 = 1256$ k wäre.

In der Wirklichkeit beträgt die Größe der durch eine Schraube bewältigten Last ziemlich weniger, da die Reibung hier bedeutend ist.

Man kann bei metallnen Schrauben annehmen, daß man zum wirklichen Betriebe derselben das Zwei- bis Dreifache und bei hölzernen das Drei- bis Vierfache derjenigen Kraft braucht, welche ohne Reibung nöthig wäre.

Um also die in der That anzuwendende Kraft zu erhalten, muß man den zu überwindenden Widerstand bei metallnen Schrauben etwa $2\frac{1}{2}$- oder $\frac{5}{2}$mal größer annehmen, als er wirklich ist. Und umgekehrt, hat man wie oben der Theorie gemäß die Last Q berechnet, so muß der gefundene Werth erst mit $\frac{5}{2}$ dividirt oder, was das Nämliche ist, mit $\frac{2}{5}$ multiplicirt werden.

Dann ergäbe sich als wirklicher Werth $Q = 502$ k.

Bei hölzernen Schrauben muß man bei den vorzunehmenden Berechnungen die Last Q $3\frac{1}{2}$mal größer annehmen, als sie in Wirklichkeit sein soll.

88. Wie wird die Schraube angewendet?

Die Schraube hat mannigfache Anwendung als Befestigungs- und Verbindungsmittel, dann zum Heben von Lasten als Schraubenwinde, zu Pressen aller Art. Ferner dient sie auch als Bewegungsmittel bei Drehbänken, Bohrmaschinen ꝛc. und zur Erzeugung großer, wie sehr kleiner Bewegungen als Schiffsschraube und Mikrometerschraube.

Digitized by Google

Die Schiffsschraube bei den Schraubendampfern (Propellern) enthält in der Regel nur zwei, drei oder vier Flügel oder Schraubenflächen, welche sich gegenüber, also auf gleicher Höhe in der Richtung gleichmäßig steigender Schraubenlinien in die Spindel eingesetzt sind. Die Wirkung ist nun so, daß bei sehr rascher Drehung, welche durch eine Dampfmaschine erzeugt wird, die Schraube sich gleichsam in das sich als träge Masse verhaltende Wasser hineinbohrt, wobei dann das Schiff natürlich vorwärtsbewegt wird.

Die Mikrometerschrauben sind an sich schon sehr fein geschnitten und mit, in Grade eingetheilten Kreisscheiben und Zeigern versehen, vermittelst deren $^1/_{100}$ und $^1/_{1000}$ einer Umdrehung abgelesen werden können. Hätte z. B. eine solche Schraube 20 Gänge auf 1 cm Höhe, so daß also eine Ganghöhe $^1/_2$ mm betrüge, so würde bei $^1/_{1000}$ Umdrehung die Schraube eine Bewegung (Messung) $= ^1/_{1000}$ von $^1/_2$ d. i. $= ^1/_{2000}$ mm machen.

Achtes Kapitel.

Von der Anwendung und Verbindung der Maschinenelemente zu zusammengesetzten Maschinen.

---

89. Zu welchem Zweck und in welcher Weise findet eine Verbindung der einfachen Maschinen statt?

Der Zweck ist, einen Kraftgewinn, oder auch eine Bewegungsvermehrung in noch höherem Maße zu erzielen, als es mit einer einfachen Maschine zu erreichen wäre. Damit man hierzu gelangt, muß die Verbindung der einzelnen Maschinenelemente so bewerkstelligt werden, daß die Wirkung der einen nicht die der andern aufhebt. Wie dies geschieht, wird an den einzelnen angeführten Beispielen gezeigt werden.

Die Leistungsfähigkeit einer jeden zusammengesetzten Maschine ist, wie im vorigen Kapitel Fr. 67 bereits gesagt wurde, immerhin durch die allgemein gültige Regel ausgedrückt, wonach die

Digitized by Google

von der Triebkraft P verrichtete Arbeits- oder Wirkungsgröße P . s stets der durch Ueberwindung des Widerstandes Q auf dem Wege s^1 verrichteten Arbeit Q . s^1 gleich sein muß.

Von den Hebelverbindungen.

90. Wie ergiebt sich das Verhältniß zwischen Kraft und Last bei Hebelverbindungen?

Bei einer Verbindung zweier Hebel, wie Fig. 62 darstellt, ist zunächst zu beachten, daß, wenn durch eine geringe Kraft P eine große Last Q überwunden oder ins Gleichgewicht gebracht

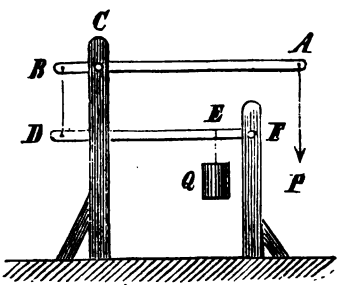


Fig. 62.

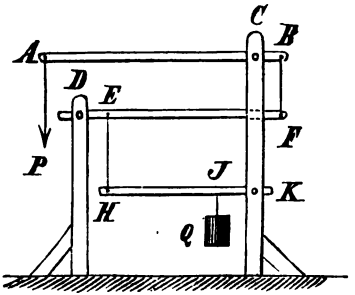


Fig. 63.

werden soll, die Verbindung immer so hergestellt werden muß, daß der kürzere Arm B C des ersten Hebels, an welchem die Kraft wirkt, mit dem längern Arme D F des zweiten oder Lasthebels verbunden ist. Die Last Q hängt dann zunächst des Stützpunktes F des zweiten Hebels.

Wäre z. B. am ersten, doppelarmigen Hebel der Arm A C 6mal länger als B C, so wird in D ein Zug ausgeübt, welcher 6mal größer ist als der von der Kraft P ausgeübte Zug. Ist sodann am untern, zweiarmigen Hebel der Arm D F 5mal größer als der Arm E F, so kann durch die in D wirksame Kraft die 5fache Last Q ins Gleichgewicht gebracht werden. Somit

Digitized by Google

müßte in dem angenommenen Fall die Last Q das 6mal 5 oder 30fache der Kraft P sein.

Oder wäre bei der Verbindung Fig. 63 AC = 15 und BC = 2, DF = 13 und DE = 2, HK = 8 und JK = 3, so wäre der in F ausgeübte Zug $\frac{15}{2}$mal P. Dieser Zug ist dann mit einer in E wirksamen $\frac{13}{2}$fachen Kraft im Gleichgewicht. Letztere Kraft endlich überwindet eine in J angebrachte Last Q, welche $\frac{8}{3}$mal größer ist, als die in H wirksame Kraft.

Eine in F wirksame Kraft wäre demnach $= \frac{15}{2} \cdot P$;

„ „ E oder H „ „ „ „ $= \frac{13}{2} \cdot \frac{15}{2} \cdot P$;

„ „ J „ „ „ „ $= \frac{8}{3} \cdot \frac{13}{2} \cdot \frac{15}{2} \cdot P$;

also Last $Q = \frac{8}{3} \cdot \frac{13}{2} \cdot \frac{15}{2} \cdot P$; d. i. = 130mal P.

Zum nämlichen Ergebniß kommt man auch, wenn man alle größeren Hebelarme mit einander multiplicirt und eben so alle kleineren und dann untersucht, wie oft das letztere Product im ersten enthalten ist.

So vielmal das kleinere Product im größeren enthalten ist, gerade so viel mal ist die überwundene Last größer als die Triebkraft;

$$\text{also } Q = \frac{15 \cdot 13 \cdot 8}{2 \cdot 2 \cdot 3} \cdot P = 130 \text{ P.}$$

Die Waagen.

91. Gehören die Waagen zu den Anwendungen des Hebels?

Ja; denn sie sind entweder einfache Hebel oder auch Hebelverbindungen. Nur die Federwaage besteht aus einer elastischen Stahlfeder und ist kein Hebel.

Digitized by Google

Die gewöhnliche oder Krämerwaage ist ein gleicharmiger Hebel; die römische oder Schnellwaage ist ein ungleicharmiger Hebel; die Zeigerwaage ist ein Winkelhebel und die Brückenwaagen sind Hebelverbindungen.

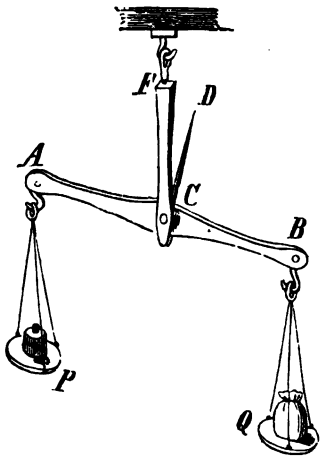


Fig. 64.

92. Welchen Anforderungen hat eine gute Waage zu genügen?

Dieselbe soll einspielen; d. h. der Waagebalken muß im unbelasteten oder beiderseits gleich belasteten Falle eine vollkommen horizontale Lage haben; die Waage soll ferner empfindlich sein und Stabilität besitzen.

Damit die gleicharmige Waage Fig. 64 diesen Anforderungen entspricht, müssen

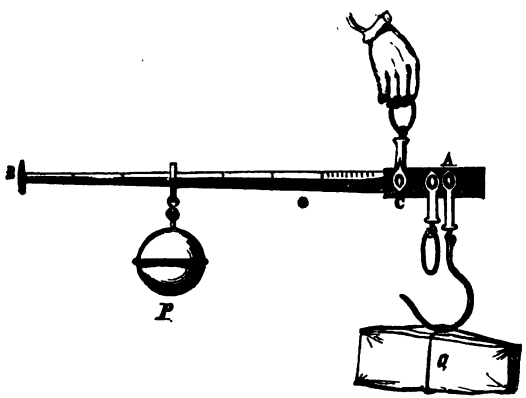


Fig. 65.

Digitized by Google

vor Allem die beiden Arme AC und CB des Waagebalkens AB vollkommen gleich sein. Die Waage muß sodann leicht gebaut und die Arme möglichst lang sein, da hiervon die leichtere Beweglichkeit oder Empfindlichkeit abhängt.

Damit die Waage die gehörige Stabilität hat, d. h. damit solche bei einem einseitigen Mehrgewichte nicht überschnappt, sondern bei Wegnahme desselben in ihre rechte Lage zurückkehrt, muß der Schwerpunkt der Waage unter den Stützpunkt, jedoch möglichst wenig, zu liegen kommen.

Bei der gleicharmigen Waage müssen natürlich die beiderseits aufgelegten Gewichte gleich sein.

93. Wie ist die Schnellwaage eingerichtet?

Die gewöhnliche Schnellwaage oder römische Waage Fig. 65 hat am kürzern Arm Haken zum Aufnehmen der Last Q. Am längern Arm wirkt das verschiebbare Laufgewicht oder der Läufer P. Im unbelasteten Fall muß die Waage einspielen. Hat der Läufer P die gleiche Entfernung vom Stützpunkt C, wie der Aufhängepunkt der Last Q, so wären P und Q gleich. Bei 2facher, 3facher, 10facher ꝛc. Entfernung des Läufers giebt er also nach Früherem auch die 2fache, 3fache, 10fache ꝛc. Last an.

Demgemäß erhält der längere Arm BC eine Eintheilung. Sind zwei Aufhängepunkte für die abzuwägenden Lasten vorhanden, so sind auch zwei Eintheilungen nothwendig. Natürlicher Weise hat die zum Aufhängepunkt A gehörige Scala größere Theile als die zum andern Punkt gehörige.

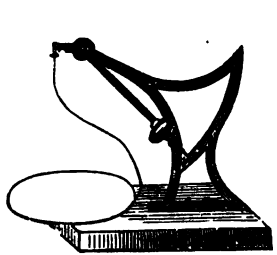


Fig. 66.

94. Wie sind die Zeigerwaagen beschaffen?

Die Zeigerwaage (Briefwaage) ist ebenfalls ein ungleicharmiger Hebel, die beiden Arme fallen aber nicht in eine gerade Linie, sondern sie sind gegen einander geneigt und bilden einen Winkel, wie Fig. 66 zeigt. Am kurzen Arm hängt die Schale

Digitized by Google

zum Aufnehmen der abzuwägenden Gegenstände. Der andere, längere Arm trägt einen festen Knopf ꝛc. als Gegengewicht, so wie am Ende einen Zeiger. Je schwerer die Last in der Schale ist, desto höher weist der Zeiger an dem rechts angebrachten eingetheilten Bogen. Die Eintheilung dieses Bogens kann durch Probiren ermittelt werden, indem man nach einander verschiedene

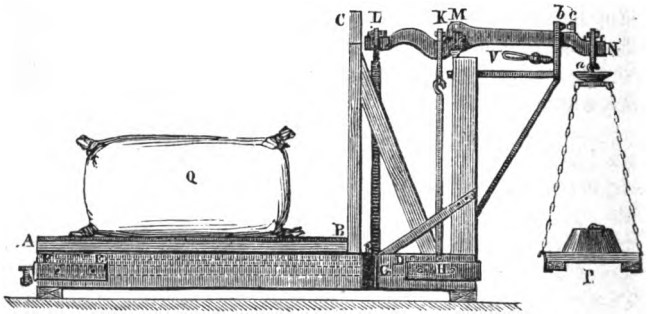


Fig. 67.

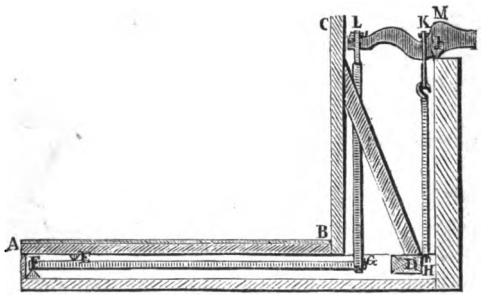


Fig. 68.

bekannte Gewichte in die Schale legt und den jeweiligen Stand des Zeigers dann bezeichnet.

95. Welche Einrichtung haben die Brückenwaagen?

Je nach der Größe der abzuwägenden Last bilden die Brückenwaagen eine Verbindung von zwei oder drei Hebeln.

Digitized by Google

Die tragbare Brückenwaage oder Decimalwaage Fig. 67 und 68 besteht aus zwei Hebeln, nämlich aus dem in F gestützten einarmigen Hebel FG und dem zweiarmigen, in M gestützten Hebel LN. Der erstere Hebel ist ein sogenannter Gabelhebel, da er sich von G aus in zwei gabelförmige Enden FF Fig. 69 theilt.

Durch die Stange LG, welche in L aufgehängt ist, ist der Gabelhebel mit dem obern Hebel oder Waagebalken verbunden. Auf einem Brette — der Brücke — AB liegt die abzuwägende Last Q, welche durch das in N wirksame Gegengewicht P ins Gleichgewicht gesetzt wird.

Die Brücke ruht vermittelst scharfer Schneiden in den Punkten E auf dem Gabelhebel und ist rechts auf das Stück D gestützt, welches vermittelst der Stange HK am Waagebalken LN aufgehängt ist. Die kleine Schale a dient dazu, vermittelst eingelegter Gewichtchen die leere Waage zum Einspielen zu bringen.

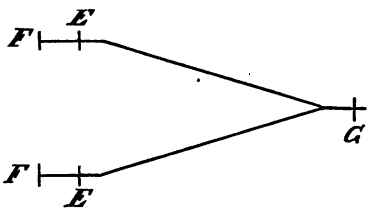


Fig. 69.

V ist ein sogenannter Absteller, durch welchen die Hebel ausgehoben werden können, damit sich die Schneiden nicht unnöthig abnutzen.

Die Waage soll nun so eingerichtet sein, daß es einerlei ist, wo die Last auf der Brücke liegt und daß letztere beim Spiel der Waage sich stets parallel hebt oder senkt; sodann soll die Waage eine sogenannte Decimalwaage sein, d. h. man soll durch irgend ein in P aufgelegtes Gewicht immer die zehnfache Last in Q abwägen können. Dies Alles wird erreicht, wenn bei der beschriebenen Einrichtung die Länge des Hebelarms FE gerade so oft in der Armlänge FG enthalten ist, als die Armlänge KM in LM. Ferner muß dann der Hebelarm MN das Zehnfache von KM sein.

Digitized by Google

Durch die genannten gleichen Armverhältnisse FE : FG = KM : LM erreicht man, daß die Waage gerade so wirkt, als hinge die ganze Last Q im Punkte K des Waagebalkens LN. Darum ist auch, wenn MN 10mal größer als KM ist, 1 k in der Waagschale stets mit 10 k, die auf der Brücke liegen, im Gleichgewichte.

Die großen Brücken- oder Straßenwaagen, mit welchen man beladene Wagen ꝛc wägt, bestehen aus Hebelverbindungen, ähnlich denen Fig. 63. Ist eine solche Waage aus drei Hebeln zusammengesetzt und könnte man vermittelst des ersten Hebels die 5fache Last, mit dem andern Hebel ebenfalls die 5fache und mit dem dritten die 4fache Last überwinden, so ist die abzuwägende Gesammtlast dann 5 mal 5 mal 4 = 100mal größer als das Gegengewicht in der Waagschale. Eine Waage, die so eingerichtet ist, nennt man Centesimalwaage.

96. Wie sind die Federwaagen beschaffen?

Die gewöhnliche Federwaage besteht aus einer starken gebogenen Stahlfeder A B C D E Fig. 70, an welcher ein um den Punkt E drehbarer, durch das andere Ende der Feder bei A durchgesteckter Zeiger Z angebracht ist. Wird bei D eine Last aufgehängt, so wird die Feder auseinandergezogen und der Zeiger zeigt dann auf der Scala m n das Gewicht an. Die Eintheilung der Scala ergiebt sich durch Probiren.

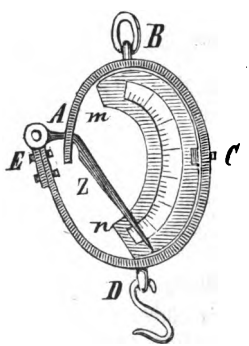


Fig. 70.

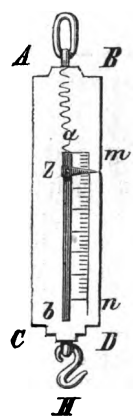


Fig. 71.

Ganz einfache Federwaagen sind wie Fig. 71 eingerichtet. Dort ist im obern Theil einer Büchse A B C D eine spiral-

Digitized by Google

förmig gewundene Stahlfeder befestigt, während am untern, freien Ende der Feder der Haken zum Aufhängen der Last angebracht ist. Ein, in einem Schlitze der Büchse sich bewegender, mit der Feder verbundener Stift trägt den Zeiger Z, welcher das gefundene Gewicht angiebt.

Von den Verbindungen des Wellrades.

97. Welche Verbindungen des Wellrades giebt es?

Es ist dies zunächst die sogenannte Differentialwelle oder die chinesische Winde; ferner sind es die im Maschinenwesen viel angewendeten Riemen-, Ketten- und Zahnräder oder Räderwerke.

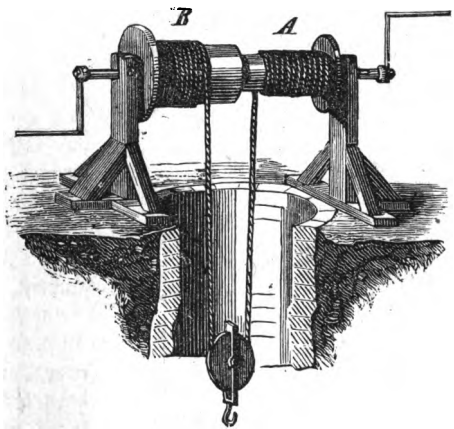


Fig. 72.

Die erstere, durch Fig. 72 dargestellte Maschine, das Differentialwellrad, besteht aus zwei Wellen, deren Durchmesser um ein Geringes von einander verschieden sind. Ein Seil, an welchem die Last und zwar mittelst einer losen Rolle hängt, wickelt sich bei Umdrehung des Wellrades von der kleineren Welle ab und auf die größere auf.

Digitized by Google

Somit hebt sich die Last um ein Stück, welches ohne das Vorhandensein der losen Rolle gleich dem Unterschiede oder der Differenz der beiden Wellenumfänge wäre und das eben in Folge der Wirkung der genannten Rolle gleich diesem halben Unterschiede ist.

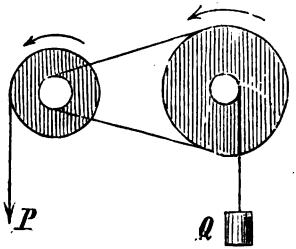


Fig. 73.

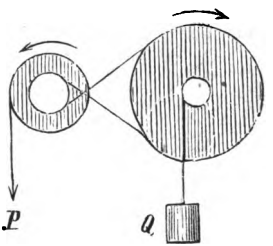


Fig. 74.

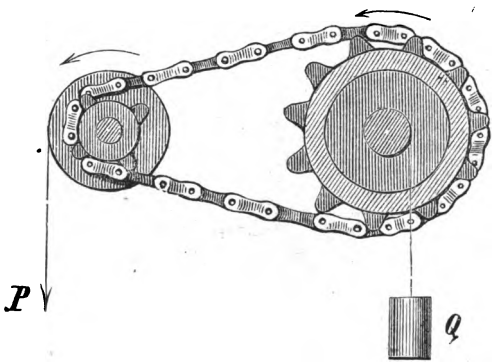


Fig. 75.

Der Weg der Last ist also von der Differenz der Umfänge oder auch der Durchmesser der beiden Wellentheile abhängig. Man hat es also ganz in der Gewalt, diese Differenz und somit auch den Weg der Last so klein wie möglich zu machen, und da die überwundene Last um so größer sein kann, je kleiner ihr Weg ist, so ergiebt sich also, daß man vermittelst des Differential-

Digitized by Google

wellrades die größten Lasten heben oder auch nach Belieben die kleinsten Bewegungen hervorbringen kann.

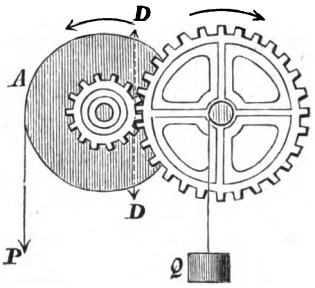


Fig. 76.

98. Wie werden die Räderwerke unterschieden?

Die Räderwerke sind entweder Riemen- od. Kettenrollen, welche, wie die Fig. 73, 74 und 75 zeigen, durch umgeschlungene Riemen oder

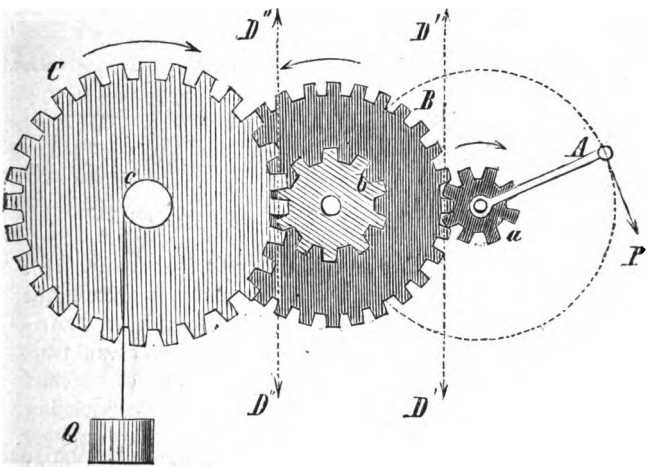


Fig. 77.

Ketten die Bewegung eines Wellrades in der durch die Pfeile angedeuteten Richtung auf ein anderes übertragen.

Digitized by Google

Oder aber es sind Zahnräder, welche, wie in Fig. 76 und 77 (S. 81) dargestellt ist, vermittelst Zähne ineinandergreifen und durch diese die Bewegung übermitteln.

99. Giebt es verschiedene Arten Zahnräder?

Ja; man unterscheidet Stirnräder, wie die in den beiden letztgenannten Figuren dargestellten, deren Wellen immer parallel

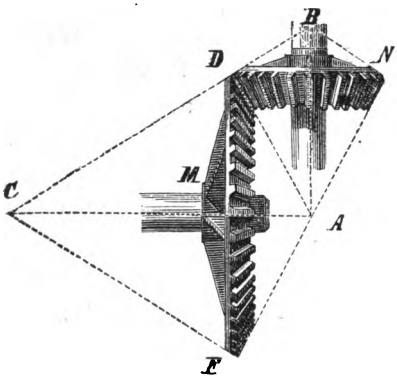


Fig. 78.

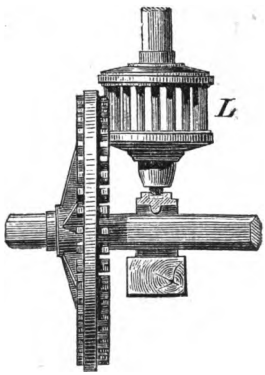


Fig. 79.

sind; ferner Winkel- oder conische (Kegel-) Räder (Fig. 78), deren Axen Winkel mit einander bilden und die nach Kegeln ADF und FCD gebildet sind. Fig. 79 zeigt sodann ein Kron- oder Kammrad mit einem sogenannten Trilling oder einer Laterne L, wodurch die Bewegung zweier rechtwinklig zu einander stehenden Wellen (wie bei Mühlen) vermittelt wird.

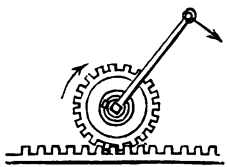


Fig. 80.

Die Fig. 80 stellt eine sogenannte Zahnstange AB mit Zahnrad oder Getriebe dar.

Digitized by Google

100. Wie ergiebt sich das Verhältniß zwischen Kraft und Last bei den Räderwerken?

Ganz wie in Fr. 90 bezüglich der Hebelverbindungen gesagt worden ist.

In allen Fällen, bei welchen ein größerer Widerstand überwunden, eine größere Last gehoben werden soll, als die Triebkraft ist, also bei allen sogenannten Kraftmaschinen, wirkt, wie die Figuren 73 bis 77 zeigen, die Triebkraft immer an einem größeren Rade, einer Kurbel, d. h. einem größeren Hebelarm; die Bewegung wird dann mittelst eines kleinen Rades (Getriebes) auf das große Rad des zweiten Wellrades übertragen und so fort. Es greift also immer ein kleineres Rad in ein größeres ein und am letzten größeren Rade ist dann die Last- oder Arbeitswelle.

Man erhält also wie bei den Hebelverbindungen das Verhältniß zwischen Kraft und Last, indem man alle größeren Halbmesser und alle kleineren mit einander multiplicirt und dann untersucht, wie oft die so erhaltene kleinere Zahl in der größeren enthalten ist. So oft jene in dieser enthalten ist, ebensovielmal ist die Last größer als die Kraft.

Wäre z. B. in Fig. 77 die Kurbellänge A 45 cm, der Halbmesser des Rades B 40 und der des Rades C 50 cm, ferner der Halbmesser von a 10, der von b 20 und der von c 5 cm lang, so könnte die Kraft P die $\frac{45.40.50}{10.20.5} = 90$fache Last Q heben *).

In Wirklichkeit wird die Last Q wegen der Bewegungshinderniße etwa $\frac{1}{4}$ bis $\frac{1}{5}$ geringer sein, als eben berechnet worden ist.

Eine kurze Betrachtung macht klar, daß in dem genannten Beispiele die Last Q aber auch 90mal langsamer sich bewegt, als der Punkt A, an welchem die Kraft P wirkt.

---

*) Unter dem Radhalbmesser versteht man immer den Halbmesser des sogenannten Theilkreises, d. i. des Kreises, auf welchem die Zähne eingetheilt werden. Dieser sollte genau genommen mitten durch die Zahnlänge gehen. In Wirklichkeit ist das über den Theilkreis hervorragende Stück des Zahnes aber um ein Weniges kürzer, als der untere Theil des Zahnes.

Digitized by Google

Wollte man darum eine Bewegungsvergrößerung bezwecken, wie bei Uhren (Minuten- und Secundenzeiger) der Fall ist, so müßte umgekehrt die Triebkraft an einem kleinen Hebel (an einem Getriebe, einer Welle) wirken, deren Umdrehung dann durch einen größeren Hebel (Rad) auf das nächste Wellrad übertragen würde u. s. w. Natürlich müßte dann der an der letzten Welle vorhandene Widerstand so vielmal kleiner sein, als die Triebkraft, als die Geschwindigkeit des arbeitenden (Last-) Punktes größer ist, als die Geschwindigkeit des Kraftangriffspunktes.

Immerhin nimmt die Last in dem Verhältniß zu oder ab, in welchem der Weg derselben umgekehrt ab- oder zunimmt.

Hat man darum ein Hebezeug (Krahn 2c.), vermittelst dessen irgend ein Arbeiter 50 Centner zu heben vermöchte, so könnte durch Einschiebung eines weitern Wellrades (Rad mit Getriebe) wohl erreicht werden, daß der nämliche Arbeiter mit gleicher Anstrengung wie vorher zweimal oder dreimal 50 Centner zu heben vermöchte; allein dann brauchte er auch gerade die zwei- und dreifache Zeit als vorher.

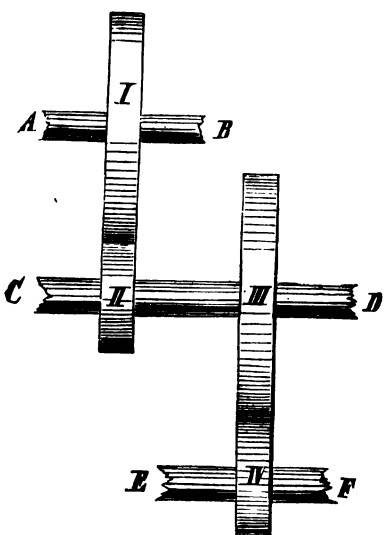


Fig. 81.

Beides zu erreichen, daß der Arbeiter nämlich mit dem nämlichen Kraftaufgebote die doppelte Last in gleicher Zeit wie die einfache in die Höhe schafft, ist ein Ding der Unmöglichkeit.

Digitized by Google

101. Was versteht man bei Räderwerken unter der Uebersetzung?

Die Uebersetzung oder Uebersetzungszahl giebt an, wieviel Umgänge eines kleineren Rades oder Getriebes auf einen Umgang eines größeren, eingreifenden Rades kommen. Sehr oft, wie z. B. bei Uhren ꝛc., muß dies genau eingehalten werden, daß nämlich auf eine Umdrehung eines Rades oder einer Welle eine bestimmte Zahl von Umdrehungen einer anderen Welle kommt.

Soll aber ein Rad z. B. fünf Umdrehungen machen, während das eingreifende nur einen Umlauf macht, so müßte das letztere Rad fünfmal mehr Zähne haben, als jenes, oder auch es müßte einen fünfmal größeren Durchmesser haben. Die Zahl fünf ist nun hier die Uebersetzungszahl.

Soll auf eine Umdrehung einer Welle eine große Zahl von Umdrehungen einer anderen Welle kommen, so muß man mehrere Zwischenräder einschieben, um nicht zu große Räder zu erhalten. Macht z. B. eine Wasserradwelle AB (Fig. 81) per Minute 12 Umgänge und es sollte die Arbeitswelle EF in dieser Zeit 120 Umläufe machen, so wäre die Uebersetzungszahl von der Welle AB auf EF $= \frac{120}{12} = 10$.

In diesem Falle würde man nun eine Zwischenwelle CD anbringen. Um die Uebersetzungszahl für diese zweite oder mittlere Welle und darnach auch die Radgrößen zu erhalten, zerlegt man die Zahl 10 in zwei Factoren, z. B. 5×2 oder $3\frac{1}{3} \times 3$ ꝛc. Man giebt also der Welle CD die fünffache Zahl der Umgänge, welche AB macht, und der Welle EF doppelt so viel als CD. Dann macht AB 12, CD 5.12 oder 60 und EF 2.60 oder 120 Umgänge, wie gewünscht wird. Dann müßte Rad I fünfmal mehr Zähne als II und Rad III zweimal so viel Zähne als Rad IV erhalten.

Wählt man die Uebersetzung $3\frac{1}{3} \times 3$, so muß CD $3\frac{1}{3} \times 12 = 40$ und EF $3 \times 40 = 120$ Umgänge machen. Dann erhält Rad I $3\frac{1}{3}$ mal so viel Zähne als II und Rad III dreimal so viel als IV.

Digitized by Google

Von den Winden, Haspeln und Krahnen.

102. Wie ist die gewöhnliche Fuhrmannswinde beschaffen?

Dieselbe besteht, wie Fig. 82 zeigt, aus einer Zahnstange AB, welche an ihrem oberen Theil, dem Horn, die Last aufnimmt.

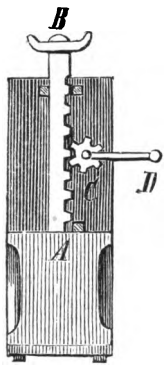


Fig. 82.

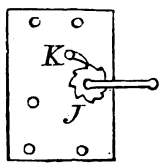


Fig. 83.

In die Zahnstange greift das Getriebe C, welches durch eine Kurbel CD in Umdrehung gesetzt wird. Um ein Rückwärtsgehen zu verhindern, ist das Sperrad J mit dem Sperrkegel K Fig. 83 angebracht.

Ohne Berücksichtigung der Reibung kann man mit dieser Winde gerade die sovielfache Last heben, als der Getriebhalbmesser in der Kurbellänge enthalten ist. Um größere Lasten zu überwinden, wendet man übersetzte Winden mit mehreren Zahnrädern an.

103. Welche Last kann man mit dem Haspel (Fig. 84) heben?

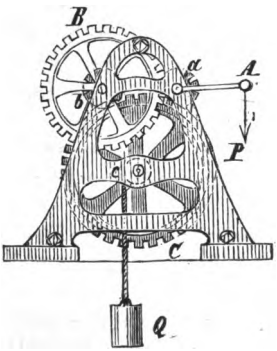


Fig. 84.

Da hier, ganz so wie oben in Fig. 77, drei Wellräder, Aa, Bb und Cc, mit einander verbunden sind, so ist die Last Q das Sovielfache der Kraft P, als das Product der Halbmesser von a, b und c in dem Product aus der Kurbellänge A und den Halbmessern von B und C enthalten ist.

Was den Gang der Maschine betrifft, so ist kaum nöthig zu bemerken, daß das durch die Kurbel getriebene Rädchen a in das große Rad B eingreift,

Digitized by Google

während das mit diesem Rade verbundene Getriebe b das Rad C ergreift und dasselbe sammt seiner Welle c in Umdrehung versetzt.

104. Wie sind die Krahnen eingerichtet?

Die Krahnen haben die Bestimmung, nicht blos Lasten zu heben, sondern auch nach der Seite hin zu bewegen. Darum sind dieselben immer drehbar oder auch sonst transportabel.

Fig. 85 u. 86 S. 88 stellen einen freistehenden Krahn dar, wie solche an Seehäfen, Landungsplätzen ꝛc. im Gebrauche sind. Der untere Theil des Krahnes befindet sich im festen Mauerwerk, ruht auf einem Zapfen und ist bei SRS mit einem Kranz von Rollen umgeben, um die Drehung zu erleichtern, beziehungsweise um die Reibung zu vermindern.

Wie aus Fig. 86 zu ersehen ist, hat die Trieb- oder Kurbelwelle HG, an welcher die Kraft wirkt, zwei Getriebe L und K, um entweder das Rad F oder das zurückliegende Rad D zu treiben. Zu dem Zwecke kann man die Triebwelle HG nach der einen oder anderen Seite verschieben und mit mehr oder weniger Uebersetzung arbeiten.

Bei der jetzigen Lage der Welle, welche durch den Griff N festgehalten wird, greift keines der Getriebe L und K ein. Schiebt man die Triebwelle aber nach links, so greift L in das Rad F. Auf gleicher Welle mit dem Rade F sitzt rechts das Getriebe E und greift in das hinten liegende Rad D ein, welch letzteres auf einer Welle angebracht ist, welche parallel zur Welle der Räder F und E ist. Mit dem Rad D ist durch eine und dieselbe Welle das Getriebe C verbunden, welches in das darüber befindliche Rad B eingreift, mit welchem die Seilwelle A verbunden ist. Von dieser geht, wie Fig. 85 zeigt, das Lastseil bei N_1 über eine feste Rolle und nimmt vermittelst der losen Rolle R_0 die dort angehängte Last auf.

Auf die genannte Weise arbeiten vier Wellen und man hat es also mit einer dreifachen Räderübersetzung zu thun. Hat man kleinere Lasten zu heben und will erreichen, daß diese rascher gehoben werden, so verschiebt man die Triebwelle HG nach rechts, so daß das Getriebe K in das Rad D eingreift. Dann wird

Digitized by Google

das Rad D unmittelbar durch das Rädchen K getrieben; das Rädchen C treibt das große Rad B und damit die Seilwelle. Es arbeiten alſo jetzt nur drei Wellen und die Welle mit den Rädern E und F geht leer mit um.

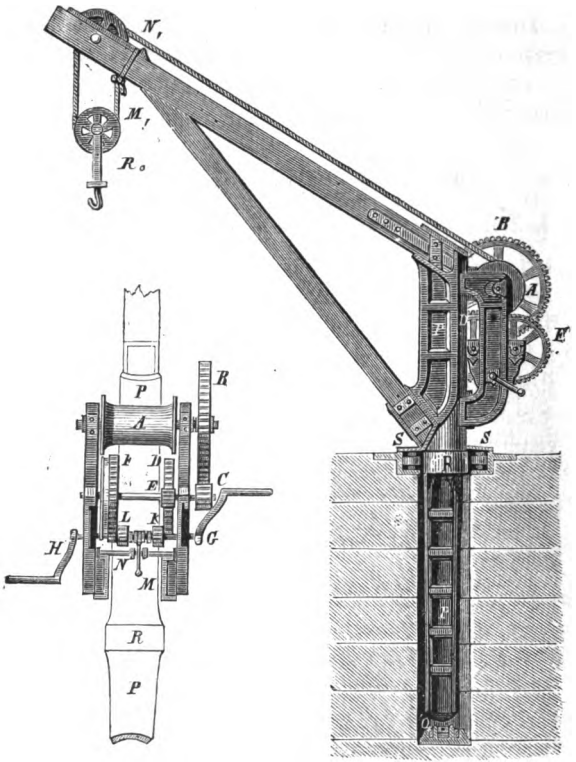


Fig. 86. Fig. 85.

Die Größe der beim Gebrauch der vier Wellen zu hebenden Laſt ergiebt ſich, indem man das Product der vier großen Hebel-

Digitized by Google

arme (Kurbellänge und die Halbmesser der Räder F, D und B) durch das Product der kleineren Halbmesser (von L, E, C und A) dividirt und wegen der losen Rolle die erhaltene Zahl doppelt nimmt und hiermit dann die Größe der an der Triebwelle wirkenden Kräfte multiplicirt.

Zu bemerken ist noch, daß, um eine rückgängige Bewegung der Maschine zu verhindern oder zu verzögern, links vom Rade F, Fig. 86, eine damit verbundene Trommel sich befindet, um welche sich ein Bremsezaum schlingt.

Die Rollen- und Flaschenzüge.

105. Wie ist ein Rollenzug beschaffen?

Der Rollen- oder Potenzenzug (Fig. 87) besteht aus einer Anzahl loser und einer festen Rolle.

Da jede lose Rolle in einem Seile hängt, dessen eines Ende an der darüber befindlichen losen Rolle angebracht ist, so ergiebt sich, daß jede folgende Rolle die Hälfte der Last zu tragen hat, welche an der unter ihr befindlichen Rolle hängt.

So hat also das Seilende a die Last $1/2$ Q zu tragen; das Seilende b hat wieder nur halb so viel zu tragen als a, also $1/4$ Q; und das Seilende c, an welchem die Kraft P wirkt, die Hälfte von $1/4$ Q, d. i. $1/8$ Q.

Bei drei losen Rollen braucht also P nur $1/8$ Q, d. i. $1/2 . 1/2 . 1/2$ Q, zu sein.

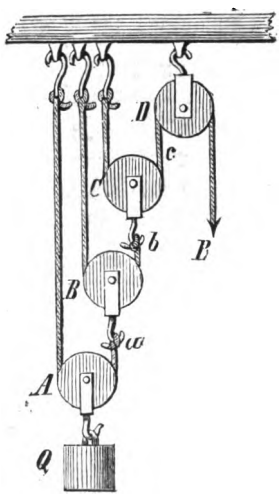


Fig. 87

Digitized by Google

Bei vier losen Rollen müßte $P = \frac{Q}{2.2.2.2} = \frac{Q}{16}$ sein; und Q wäre $= 16.P$.

Da 4, 8, 16 ꝛc. Potenzen von 2 sind, so heißt die genannte Rollenverbindung Potenzenzug.

106. Wie sind die Flaschenzüge beschaffen?

Bei den Flaschenzügen sind zwei, drei und mehr Rollen je in zwei Rahmen oder Gehäusen neben oder über einander verbunden, wie Fig. 88 zeigt. Hier sind in dem oberen wie in dem unteren Gehäuse (Flasche) je drei Rollen mit einander verbunden und es schlingt sich ein und dasselbe Seil abwechselnd über die unteren und oberen Rollen.

Da jede Rolle der unteren Flasche, an welcher die Last hängt, von zwei Seilenden getragen wird, so müßte, wenn man das Seil zwischen dem oberen und unteren Gehäuse entzweischnitte, an jedem der sich ergebenden sechs Seilenden die Kraft P wirken.

Die Last Q wird also von sechs Kräften P getragen, und es muß also $P = \frac{Q}{6} = \frac{Q}{2.3}$ sein.

Bei vier Rollen in einer Flasche wäre

$$P = \frac{Q}{2.4} \text{ oder } \frac{Q}{8} \text{ und folglich } Q = 8.P.$$

Bei Anwendung von noch mehr Rollen sind die Bewegungswiderstände ansehnlich und vermindern darum die Leistungsfähigkeit der Maschine bedeutend.

107. Wie ist der Differentialflaschenzug beschaffen?

Derselbe besteht, ähnlich wie das Differentialwellrad, aus zwei fest mit einander verbundenen Rollen oder Scheiben, deren Durchmesser um Weniges von einander verschieden sind. Von der kleineren Rolle geht eine endlose Kette abwärts und schlingt sich um eine lose Rolle, an welcher die Last hängt. Vom Umfange der losen Rolle geht die Kette dann über die größere Rolle. Zieht man also an der Kette, wie in Fig. 89 angedeutet ist, so windet sich dieselbe von dem kleineren Rollenumfange ab und auf den größeren auf. Die Last muß sich also heben und zwar

Digitized by Google

um ein Stück, das von der Differenz der Rollendurchmesser abhängig ist. Da hiemit wieder erreicht wird, daß die Last einen außerordentlich kleinen Weg macht, so kann ihre Größe in eben demselben Maße zunehmen.

Ketten — statt Seile — und entsprechende Vertiefungen auf dem Umfange der Rollen sind nöthig, um das Gleiten (Rutschen) zu verhindern.

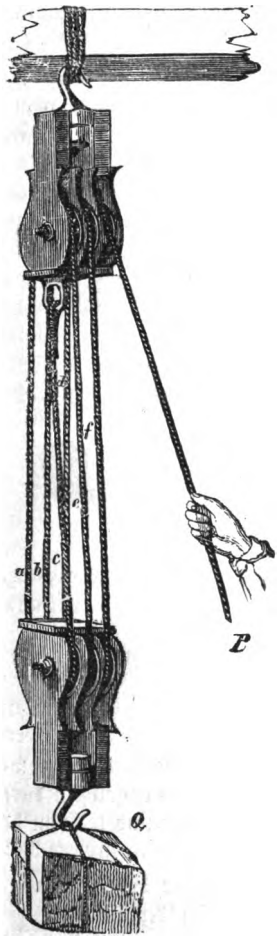


Fig. 88.

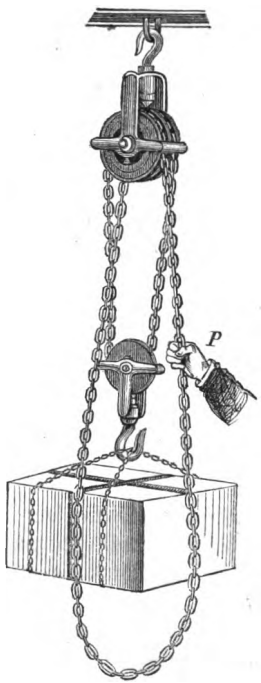


Fig. 89.

Digitized by Google

Endlose Schrauben, Schraubenwinden, Differentialschrauben-Pressen und -Winden.

108. Was versteht man unter einer endlosen Schraube?

Greift ein Schraubengewinde in ein Zahnrad ein, dessen Zähne nach der Steigung des Gewindes schräg gestellt sind, so nennt man die Vorrichtung eine Schraube ohne Ende, weil man die Bewegung ohne Unterlaß fortsetzen kann.

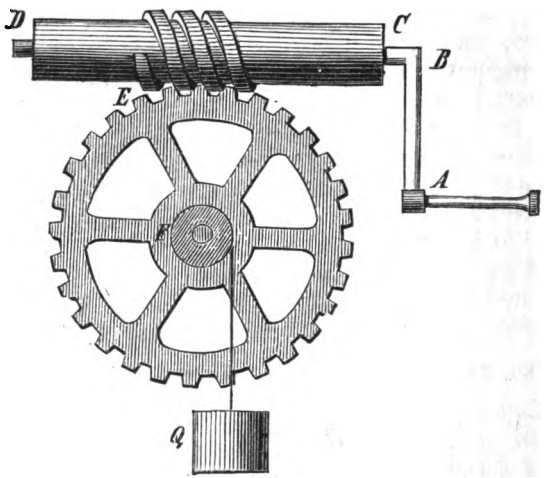


Fig. 90.

Fig. 90 stellt eine solche dar. Will man die Größe der damit zu hebenden Last Q bestimmen, so kann das am einfachsten durch Vergleichung des von dem Kraftangriffspunkt und des von der Last zurückgelegten Weges gefunden werden.

Macht nämlich die Kurbel A, an welcher die Kraft wirkt, eine Umdrehung, so wird durch Eingreifen der Schraube das Rad E um einen Zahn vorwärts bewegt. Hat das Rad nun

Digitized by Google

z. B. 30 Zähne, so macht es also bei einer ganzen Kurbelumdrehung 1/30 Umdrehung, und es hebt sich demnach die Last Q um 1/30 des Umfanges der Welle F. Die Last Q ist also das Sovielfache der Kraft P, als 1/30 des Wellenumfanges in dem ganzen Umfange des von der Kurbel A B beschriebenen Kreises enthalten ist

Ist das Rad E in seiner Mitte mit einer Schraubenmutter versehen und es ist F eine Schraubenspindel, so ist das Ganze eine Schraubenwinde. Die Spindel F hebt sich alsdann bei einer Kurbelumdrehung um 1/30 der Ganghöhe der Schraube F.

Solche Schraubenwinden werden oft angewendet, weil dieselben sehr wirksam sind. Die endlose Schraube wird aber auch wegen der damit erzielten sehr langsamen Bewegung dort angewendet, wo man sanfte, kleine Bewegungen erzeugen will, wie z. B. bei Hobelmaschinen 2c. 2c.

Wäre bei einer, in der genannten Weise eingerichteten Schraubenwinde die Kurbel 45 cm lang und die Ganghöhe der Schraube F = 5 cm, so wäre der Umfang des von der Kurbel beschriebenen Kreises oder der Kraftweg 2 . 3,14 . 45 = 282,6 cm; der Lastweg aber wäre nur 5/30 oder 1/6 cm, und somit wäre die von der Winde aufzunehmende Last 6 . 282,6 = 1695mal größer als die an der Kurbel wirkende Kraft.

109. Wie sind die Differentialschrauben eingerichtet?

Dieselben sind entweder so, daß auf einer und derselben Spindel zwei Gewinde von verschiedener Steigung aber nach gleicher Richtung eingeschnitten sind, wodurch erreicht wird, daß bei der Drehung der Spindel die verschiebbaren Muttern sich um die Differenz der beiden Ganghöhen nähern oder entfernen; oder aber es ist die Einrichtung getroffen, daß eine Schraubenspindel hohl ist und im Innern eine Mutter enthält für eine zweite Schraube, deren Ganghöhe um etwas von der Steigung der ersten Schraube verschieden ist.

Auf diese Weise ist die Differentialschraubenwinde Fig. 91 S. 94 beschaffen. Es enthält die Spindel A im Innern die Mutter für die Schraube B. Die Ganghöhe der letzteren

Digitized by Google

Schraube ist etwas größer als die der Schraube A. Schraubt man nun die Spindel A vermittelst eines Schraubenschlüssels abwärts und verhindert die Spindel B sich zu drehen, so hebt sich der Kopf der Spindel B oder das Horn C der Winde um die Differenz der beiden Ganghöhen.

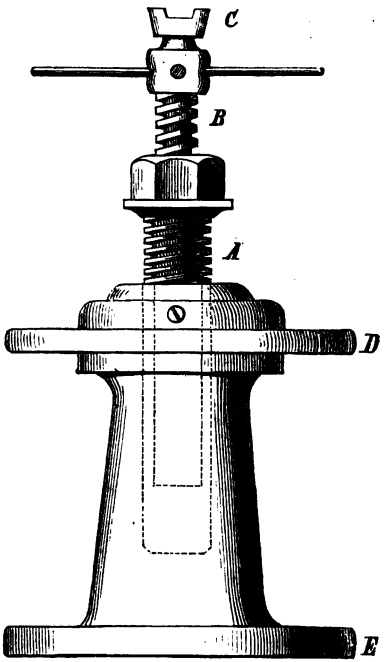


Fig. 91.

Bei einer Umdrehung der Schraube A geht diese nämlich um ihre Ganghöhe abwärts. Gleichzeitig wird aber die Spindel B, wenn sie sich nicht drehen kann, um ihre Ganghöhe aufwärts geschraubt. Die Spindel B hat also eine doppelte Bewegung, sie geht um eine Ganghöhe von A mit der Schraube A abwärts

Digitized by Google

und um ihre eigene Ganghöhe aufwärts. Somit muß sie sich um den Unterschied der beiden Ganghöhen heben.

Die Vorrichtung kann auch als einfache Schraubenwinde gebraucht werden, indem man blos die Spindel B oder blos A in Umdrehung setzt, was man thut, wenn leichtere Lasten zu

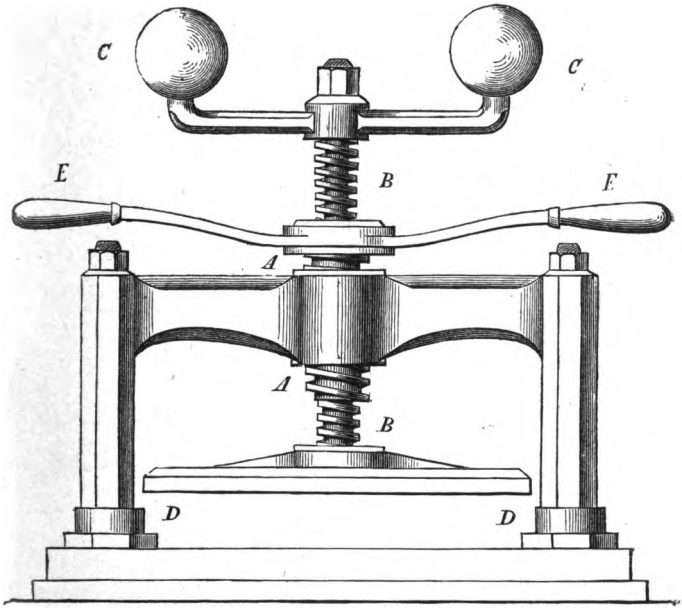


Fig. 92.

heben sind, um dann die Arbeit zu beschleunigen. Arbeitet man mit der Schraube A allein, so muß die Spindel B so festgeschraubt werden, daß sie sich mit A herumdreht.

Die Scheiben D und E dienen zum Fortrollen der Maschine.

110. Wie ist die Differentialschraubenpresse beschaffen?

Ganz wie die Differentialschraubenwinde. Es enthält nämlich in Fig. 92 die Spindel A die Mutter für die Schraube B.

Digitized by Google

Ist die Ganghöhe von A etwas größer als die von B, so braucht man nur, damit sich die Preßplatte D D senkt, die Spindel A A vermittelst der Arme E E abwärtszuschrauben und dabei zu verhindern, daß sich die Schraube B B auch dreht.

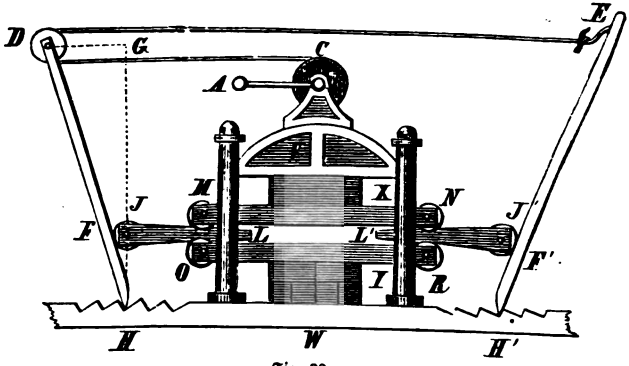


Fig. 93.

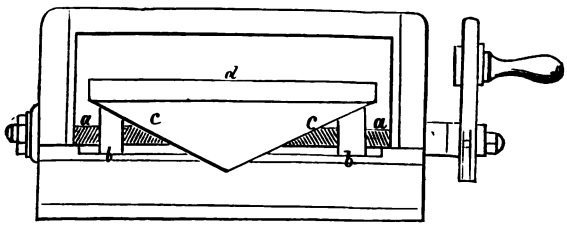


Fig. 94.

Alsdann senken sich beide Spindeln um die Ganghöhe von A A abwärts; zugleich schraubt sich B B um seine Ganghöhe, welche kleiner ist, aufwärts; die Folge ist wieder, daß sich die Platte D D um die Differenz der beiden Ganghöhen senkt.

Auch die Differentialschraubenpresse kann als einfache Schraubenpresse angewendet werden, indem man blos mit der

Digitized by Google

Spindel AA oder mit der Spindel BB, welche mit den Schwungkugeln C C versehen ist, allein arbeitet.

111. Welche andere Verbindungen der Elementarmaschinen giebt es noch?

Es wären noch anzuführen die verschiedenen Arten von Keilpressen, welche Verbindungen von Hebeln, Wellrädern und Keilen nebst Frictionsrollen, wie Fig. 93, oder von Wellrädern, Keil und Schraube, wie Fig. 94, sind.

Dann könnte noch genannt werden: Die Tretscheibe, die archimedische oder Wasserschraube, die aus einem gewöhnlichen und einem Kniehebel nebst Kurbelrad zusammengesetzte Steinquetschmaschine, die Wurzelstockhebmaschine (bestehend aus Hebel, Wellrad und Flaschenzug ꝛc. ꝛc.).

Das Verständniß der Wirkungsweisen und Wirkungsgrößen dieser Vorrichtungen ergiebt sich aus dem Bisherigen leicht.

Neuntes Kapitel.

Von dem Druck und der Bewegung des Wassers, sowie anderer tropfbaren Flüssigkeiten, und von den Anwendungen derselben.

---

a) Vom Wasserdruck.

112. Wie verhält es sich bezüglich eines auf eine Flüssigkeit ausgeübten Druckes?

Hierbei verhält es sich wesentlich anders, als wenn durch irgend eine Kraft ein Druck auf einen festen Körper ausgeübt wird. Ein fester Körper pflanzt nämlich den empfangenen Druck nur nach einer Richtung fort, und zwar in derjenigen, in welcher der Druck erfolgt. Beschwert man z. B. einen Tisch ꝛc. mit Gewichten, so pflanzt sich der von denselben ausgeübte Druck

Digitized by Google

nur nach unten auf den Boden fort; nach den Seiten findet, falls der Tisch vollkommen horizontal steht, keinerlei Wirkung statt.

Bei flüssigen Körpern ist dies ganz anders. Ist ein Gefäß mit Wasser ꝛc. gefüllt, und man übt durch einen in die Mündung eingetriebenen Pfropfen oder Kolben einen Druck auf dasselbe aus, so wird dieser Druck durch das Wasser nach allen Seiten fortgepflanzt und die Seitenwände des Gefäßes sowohl als der Boden desselben werden nach außen gedrückt. Ein Bruch kann darum ebensowohl an einer Wandstelle als am Boden erfolgen, jenachdem da oder dort das Gefäß geringern Widerstand leistet.

113. Wie stark ist der durch eine Flüssigkeit fortgepflanzte Druck?

Befinden sich in einem mit Flüssigkeit gefüllten Gefäß, dessen Durchschnitt Fig. 95 darstellen soll, Oeffnungen, welche durch die Kolben (Pfropfen) a, b, c und d abgeschlossen sind, und man drückt einen der Kolben z. B. a einwärts, so wird jeder der anderen Kolben b, c und d, wenn sie die nämliche Grundfläche oder den gleichen Querschnitt wie a haben, vermittelst einer Kraft nach außen getrieben, welche dem auf a ausgeübten Drucke gleich ist. Hätte aber einer der Kolben b, c und d einen doppelten oder dreifachen ꝛc. Querschnitt, so würde er auch den doppelten oder dreifachen Druck erleiden.

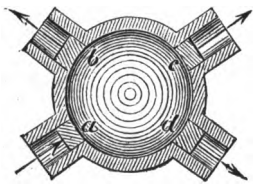


Fig. 95.

Es pflanzt sich also irgend ein auf das Wasser oder eine andere Flüssigkeit ausgeübter Druck in der Weise fort, daß jede Stelle der Gefäßwand oder des Bodens ꝛc., welche der Grundfläche des drückenden Kolbens gleich ist, gerade so stark gedrückt wird, wie der Kolben selbst. Eine größere Fläche, z. B. der Boden oder eine Seitenwand des Gefäßes, erleidet aber einen so vielmal größern Druck, als die genannte Grundfläche des Kolbens, welche wir die drückende Fläche nennen wollen, in dem Boden oder in der Wandfläche, d. i. in der gedrückten Fläche, enthalten ist.

Digitized by Google

Wird also in Fig. 96 der Kolben A mit 1 k oder 1 Ctr. beschwert, so müßte man den Kolben B, wenn er sich nicht bewegen soll, mit so viel k oder Ctr. belasten, als die Grundfläche desselben größer ist, als die des Kolbens A.

Man kann somit auf die genannte Weise eine beliebige Vermehrung eines ausgeübten Druckes bewirken, und es wird immerhin der ursprüngliche auf den kleinern Kolben ausgeübte Druck am zweiten, größern Kolben so oft vervielfacht, als die erste Kolbengrundfläche in der zweiten d. h. so oft die drückende Fläche in der gedrückten enthalten ist.

Wäre z. B. der Durchmesser des Kolbens B 10mal größer als der des Kolbens A, so wäre der Querschnitt des größern Kolbens 100mal größer, als der des kleinern, und es würde darum der an jenem Kolben ausgeübte Druck 100mal größer sein, als derjenige, welcher auf den kleinern Kolben A einwirkt.

Hierauf gründet sich in ihrem Wesentlichen die Wirkung der unten beschriebenen hydraulischen Presse.

114. Wie verhält es sich mit der Größe des Druckes auf den Boden oder auf die Wand eines mit Flüssigkeit gefüllten Gefäßes?

Aus der genannten allseitigen Fortpflanzung der durch Flüssigkeiten oder vermittelst derselben ausgeübten Drücke ergiebt sich auch, daß in Gefäßen von gleicher Bodenfläche und gleicher Höhe des Flüssigkeitsstandes die unterste Flüssigkeitsschichte einen und denselben Druck erleidet, ob das Gefäß überall gleiche Weite hat oder ob es sich nach oben hin verengt oder erweitert. Immerhin ist der Bodendruck der nämliche, wenn die Grund-

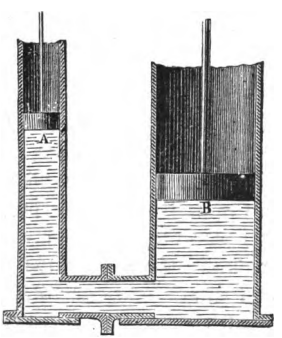


Fig. 96.

Digitized by Google

fläche des Gefäßes und die Höhe des Wasserstandes gleich ist, und zwar ist dieser Druck stets dem Gewichte derjenigen Wassermenge gleich, welche das überall gleich weite Gefäß enthält.

Man kann die Richtigkeit des Gesagten durch folgenden Versuch nachweisen:

Man schraubt Gefäße a, b, c und d Fig. 97, welche alle

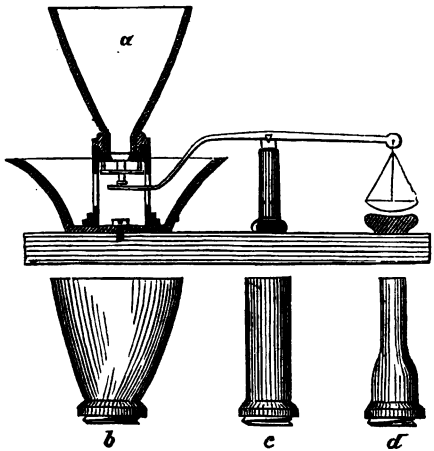


Fig. 97.

unten gleich weit sind, und welche die gleiche Höhe haben, auf die durch die Figur dargestellte Weise auf. Die Gefäße sind unten offen. Ein genau die Bodenöffnung abschließendes, sich nach oben öffnendes Ventil berührt mit seinem Stiel den einen Arm eines darunter befindlichen Hebels. Dieser Hebel trägt auf der andern Seite eine Waagschale. Wird nun eins der Gefäße aufgeschraubt und mit Flüssigkeit gefüllt, so wird dadurch das Ventil zugedrückt und es ist ein bestimmtes Gewicht in die Waagschale rechts zu legen, bis das Ventil sich öffnet. Das nämliche Gewicht ist aber bei einem jeden der genannten

Digitized by Google

Gefäße erforderlich, wenn sie alle gleich hoch mit Flüssigkeit angefüllt sind.

Mit dem Seitendruck, d. h. mit dem auf eine Wandfläche ausgeübten Druck verhält es sich wie mit dem Bodendruck. Es hängt nämlich dieser Druck wieder nur von der Größe der Wandfläche und der Höhe des Flüssigkeitsstandes ab, und es ist der Seitendruck auf eine verticale Wandfläche immer gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die gedrückte Fläche als Grundfläche und den Abstand ihres Mittel- oder eigentlich Schwerpunktes vom Wasserspiegel zur Höhe hat.

Da das Gewicht eines cbdcm (Liter) Wasser = 1 k ist, so ist also der Bodendruck auf 1 □dcm bei 1 dcm Höhe = 1 k, bei 2 dcm Höhe = 2 k, bei 3 dcm Höhe = 3 k ꝛc.; folglich auf 40 □dcm und bei 10 dcm Höhe = 40 . 10 = 400 k.

Der Seitendruck auf eine viereckige Wand von 24 dcm Länge und 10 dcm Höhe wäre aber $= 24 . 10 . \frac{10}{2} . 1 = 1200$ k.

115. Was versteht man unter dem Auftrieb des Wassers?

Man versteht darunter den Druck, welchen das Wasser nach oben ausübt. Aus der angeführten allseitigen Fortpflanzung des Druckes in und durch Flüssigkeiten ergiebt sich, daß in denselben auch ein nach oben gerichteter Druck stattfindet. Man erkennt dies in dem Schwimmen der Körper, so wie in dem Umstande, daß ein Körper, welcher leichter als Wasser ist, von diesem, wenn er mit Gewalt eingetaucht wird, in die Höhe gedrückt wird.

Wie der Boden- und Seitendruck ist der Auftrieb, welchen ein eingetauchter Körper erleidet, um so größer, je höher der Wasserstand ist d. h. je tiefer ein Körper eingetaucht wurde (Heben versenkter Gegenstände im Wasser durch daran befestigte leere, gut verspundete Fässer oder Tonnen).

116. Was ist unter der Reaction des Wassers zu verstehen?

Wird ein mit Wasser ꝛc. gefülltes Gefäß leicht balancirt oder aufgehängt, und man gestattet der Flüssigkeit einen einseitigen

Digitized by Google

Ausfluß, d. h. nur nach einer Richtung hin, so nimmt das Gefäß eine Bewegung nach der Gegen- oder Rückseite hin. Diese Wirkung der Flüssigkeit bezeichnet man mit dem Wort Reaction oder Rückwirkung. Dieselbe hat darin ihren Grund, daß auf der Gegenseite eine um den Oeffnungsquerschnitt größere Wandfläche und darum auch ein größerer Seitendruck ist, welcher das Gleichgewicht stört.

Angewendet sehen wir diese Wirkung in der unten beschriebenen Reactionsturbine.

117. Was versteht man unter communicirenden Röhren?

Man versteht darunter Gefäße, Behälter, Röhren ꝛc., welche unter sich in Verbindung stehen. Füllt man ein solches Gefäß

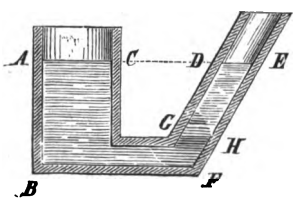


Fig. 98.

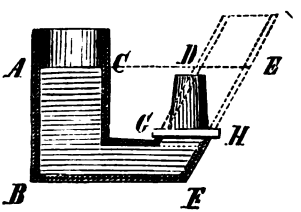


Fig. 99.

ABC Fig. 98 mit Wasser, so stellt sich dieses in der damit verbundenen oder communicirenden Röhre FDE auf gleiche Höhe, d. h. horizontal.

Würde man aber den einen Röhrenschenkel mit Quecksilber und den andern mit Wasser füllen, so würde letzteres so vielmal höher sich stellen, als es leichter ist als Quecksilber, also 13,6mal höher.

Ist, wie Fig. 99 darstellt, der eine Röhrenschenkel kürzer, so erleidet eine dort angebrachte Platte ꝛc. GH einen Druck, welcher um so größer ist, je weiter der Röhrentheil FGH und je größer der Abstand von GH bis DE ist. Da nämlich das Wasser das Bestreben hat, bis DE zu steigen, so übt es einen

Digitized by Google

nach oben gegen die Platte gerichteten Druck aus und es ist dieser Druck stets dem Gewichte der fehlenden Wassersäule gleich, d. h. einer Wassersäule, welche die Weite des kürzeren Röhrenstücks und die Höhe hat, welche dem senkrechten Abstand zwischen ACDE und GH gleich ist.

Würde man also durch eine hohe Zuflußröhre a Fig. 100 einem weitern Behälter Wasser ꝛc. zuführen, so kann dort ein Druck erzeugt werden, welcher um so stärker ist, je weiter der Behälter und je größer der Höhenunterschied in den beiderseitigen Wasserständen ist. Der auf die Platte bc ausgeübte Druck wäre aber gleich dem Gewicht einer Wassersäule, welche diese Platte zur Grundfläche und eine Höhe hat, die der Länge der Röhre a von ihrem obern Ende bis zum Punkt b gleich ist.

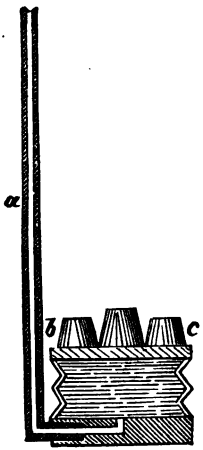


Fig. 100.

118. Welche Einrichtung hat die hydraulische Presse?

Eine hydraulische Presse, d. i. eine Presse, in welcher der Wasserdruck zur Wirkung gelangt, könnte einfach so eingerichtet sein, wie die Figur 100 darstellt. Würde man nämlich durch eine hohe Zuflußröhre einen weiten, durch einen Kolben abgeschlossenen Cylinder Wasser zuführen, so würde man an diesem Kolben nach Vorigem einen Druck erzeugen können, dessen Größe sich nach dem Querschnitte des Kolbens und der Höhe der Zuflußröhre richtet.

Bei der gewöhnlichen hydraulischen Presse wird das zum Betriebe angewendete Wasser, auch Oel, Glycerin ꝛc., aber nicht durch eine hohe Zuflußröhre, sondern durch eine Pumpe dem weitern oder sogenannten Preßcylinder zugeführt. Fig. 101 stellt diese hydraulische Presse dar.

Digitized by Google

Durch die vermittelst des Hebels Ri in Gang gesetzte Pumpe G wird das Wasser aus dem Behälter MM aufgesaugt und vermittelst der Röhre ee dem größern oder Preßcylinder Af

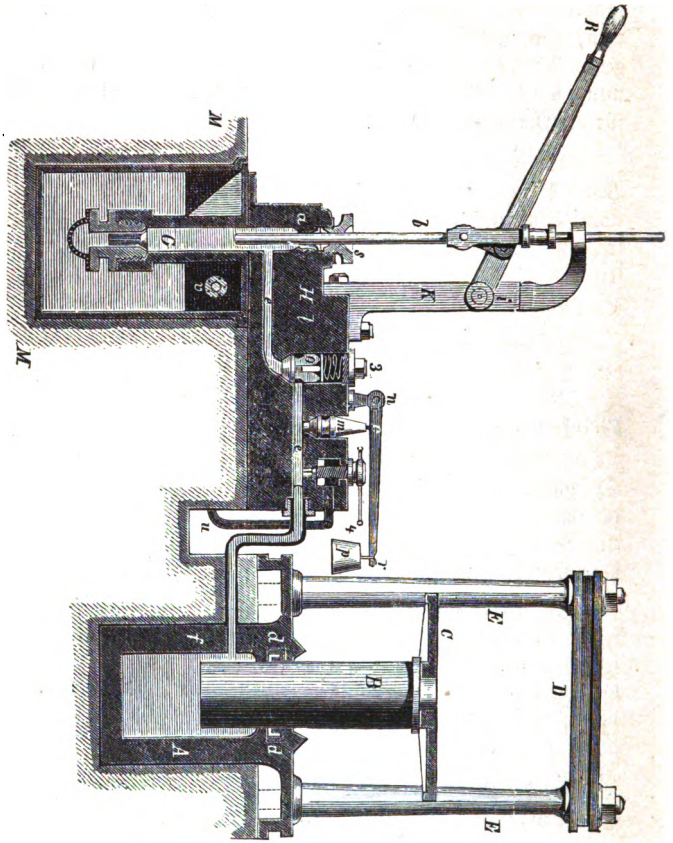


Fig. 101.

zugeführt. Das zugeleitete Wasser drückt den Preßkolben B, der in dd durch die sogenannte Liederung gut abgedichtet

Digitized by Google

ist, sammt der Preßplatte C in die Höhe. Zwischen dieser und der Gegenplatte D befinden sich die zu pressenden Gegenstände.

Das Spiel der später erklärten Ventile bei G und O verhindert das Zurückfließen des Wassers. Das Sicherheitsventil m, welches vermittelst des an einem Hebel nr wirkenden, genau berechneten Gewichte p zugedrückt wird, soll sich öffnen, wenn der Druck des Wassers eine Höhe angenommen hat, welche für die Maschine ꝛc. gefährlich werden könnte.

Ein weiteres, durch eine Schraubenspindel festgehaltenes Ventil dient zum Entleeren des Preßcylinders. Schraubt man nämlich mittelst des Hebels 4 die Spindel zurück, so wird das fragliche Ventil durch den Wasserdruck gehoben und die Flüssigkeit geht aus dem Preßcylinder durch die Röhre u v zurück in den Behälter M M.

Der durch eine hydraulische Presse ausgeübte Druck ist sehr bedeutend und läßt sich leicht berechnen. Beträgt nämlich die in R an dem Hebel wirksame Kraft 15 k, so ist nach Früherem der auf den Pumpenkolben b übertragene Druck das Sovielfache, als der Abstand des Aufhängepunktes des Pumpenkolbens vom Drehpunkt des Hebels in der ganzen Hebellänge Ri, d. h. als der kleinere Hebelarm im größern enthalten ist. Wäre der kleinere Arm 9 und der größere 90 cm lang, so würde also der auf den Pumpenkolben b ausgeübte Druck $10 . 15 = 150$ k betragen.

Der Preßkolben B aber erleidet sodann wieder nach Fr. 113 einen so vielmal größeren Druck, als der Querschnitt des Pumpenkolbens in dem des Preßkolbens enthalten ist. Hätte der Pumpenkolben z. B. einen Durchmesser von 2 cm und der Preßkolben einen solchen von 40 cm, so wäre der Querschnitt des letztern $\frac{40 . 40}{2 . 2}$ d. i. 400mal größer, als der des Saugkolbens. Somit wäre auch der am Preßkolben wirksame Druck 400mal größer als der auf den kleinen Kolben wirkende, und müßte darum betragen $400 . 150 = 60000$ k $= 120000$ Pfd. $=$ 1200 Ctr.

Digitized by Google

Nennt man allgemein P die Triebkraft, l und L die Hebellängen und d und D die Durchmesser der Kolben, so ist der durch die Presse ausgeübte Druck $Q = \frac{L.D.D}{l.d.d} \cdot P$.

Die hydraulische Presse gehört zu den wirksamsten Kraftmaschinen und zwar namentlich auch deswegen, weil die Bewegungshindernisse, Reibung 2c., welche selten nur 1 bis 2 Procente der theoretischen Wirkung verzehren, die letztere nur wenig beeinträchtigen. Darum auch hat die Maschine so vielfache Anwendung gefunden zu Pressen aller Art, dann aber auch zum Heben bedeutender Lasten, wie bei Brückenbauten, als hydraulische Winde 2c., ferner zum Probiren von Dampfkesseln und Wasserleitungsröhren und selbst zum Betriebe mancher Maschinen, wie der Lochstoßmaschinen, Metallscheeren 2c. 2c.

In dem Gang der hydraulischen Presse zeigt sich die Wahrheit des im 7. Kapitel aufgestellten allgemeinen Wirkungsgesetzes wieder recht augenscheinlich. Man sieht hier ganz klar, daß in dem Maße, als die Maschine bei einem recht weiten Preßcylinder einen größern Druck auszuüben vermag, der Kolben auch sich um so langsamer vorwärts bewegt. Immerhin gilt auch hier wieder der Satz: „Das Product aus der Kraft mal ihren Weg ist gleich dem Product aus Last mal ihren Weg".

Aus diesem Grunde versieht man die hydraulischen Pressen oft mit zweierlei Pumpen, einer engern und einer weitern, und arbeitet anfänglich mit der weitern und später erst, wenn der größtmögliche Druck erzeugt werden soll, mit der engern.

Hydraulische Pressen ohne Pumpe. — Bei diesen wird z. B. in einen röhrenförmigen Ansatz des die Flüssigkeit enthaltenden Preßcylinders ein Kolben von geringem Querschnitt vermittelst einer Schraube einwärts getrieben und dadurch auf die Flüssigkeit ein Druck ausgeübt, welcher sich dann an dem größeren Querschnitt des Preßkolbens in dem mehrfach genannten vervielfachten Maße wiederholt.

Digitized by Google

b) Von der Bewegung des Wassers.

119. Wie erhält man die durch eine Oeffnung eines Behälters geflossene Wassermenge?

Befindet sich im Boden oder in der Wand eines Behälters, welcher beständig mit Wasser gefüllt sein soll, eine Oeffnung, so würde, wenn keine Nebenumstände dazu kämen, in jeder Secunde eine Wassersäule durchströmen, welche einen Querschnitt gleich der Oeffnung und eine Länge hat, welche der Geschwindigkeit, mit welcher das Wasser ausströmt, gleich ist.

Wäre F die Größe des Querschnitts und flösse in jeder Secunde ein Wasserstrom von der Länge v durch die Oeffnung, so wäre also die in jeder Secunde durchgeflossene Wassermenge $M = F.v$. Da die Geschwindigkeit des ausströmenden Wassers natürlich um so größer, je höher der Wasserstand ist, und zwar nach einer auf mathematischem Wege gefundenen Formel $= \sqrt{2.g.h}$ ist, wobei g die Fallbeschleunigung 9,81 Meter und h die Höhe des Wasserstandes, bis in die Mitte der Ausflußröhre gemessen, bedeutet, und zugleich das Zeichen $\sqrt{}$ anzeigt, daß die Quadratwurzel aus 2.g.h ausgezogen werden soll, so wäre auch, ohne weitere Einwirkungen, die secundliche Wassermenge $M = F . \sqrt{2.g.h}$.

In Wirklichkeit beträgt aber die durch die Oeffnung eines gewöhnlichen Gefäßes geflossene Wassermenge M per Secunde nur etwa $0{,}6 . F . \sqrt{2.g.h}$, d. h. nur $^6/_{10}$ der theoretischen Menge.

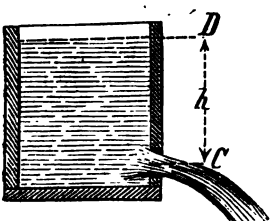


Fig. 102.

Dies kommt hauptsächlich daher, daß der durch die Oeffnung fließende Wasserstrom wegen des seitlichen Zuströmens und Zusammendrängens eine Verengung, eine Zusammenziehung oder Contraction erleidet, wie dies durch die Fig. 102 und 103 dargestellt ist. Wie namentlich die letztere Figur deutlich macht,

Digitized by Google

hat nämlich der Wasserstrom, wenn die Flüssigkeit von allen Seiten sich zur Oeffnung drängt, in A B Fig. 103 nur noch einen Durchmesser von $^{8}/_{10}$ der Mündungsweite. Alsdann ist aber der Querschnitt des Wasserkörpers nur $^{64}/_{100}$ der Oeffnung.

Größere Wassermengen würden nur durchfließen, wenn die Oeffnung in einer recht dicken Wand angebracht und die Mündung nach innen so erweitert wäre, daß das Wasser ungehindert zutreten könnte. Das Nämliche erreicht man auch durch angebrachte entsprechende Ausflußröhren.

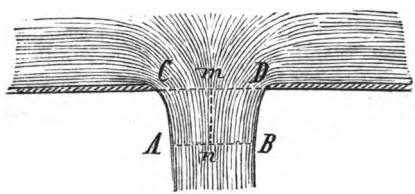


Fig. 103.

Größere Wassermengen gehen auch durch Stellfallen oder Schützen, wenn namentlich die Oeffnung bis auf den Boden und bis an die Seitenwände reicht; denn alsdann erleidet dort der durchfließende Wasserstrom keine Verengung.

In diesem Falle steigt die wirkliche Ausflußmenge bis zu 0,7 und bei einer unter einem halben rechten Winkel geneigten Schütze bis zu 0,8 der theoretischen Menge $M = F \cdot \sqrt{2.g.h}$.

120. Wie findet man die durch Flüsse und Canäle fließende Wassermenge?

Man ermittle zuerst die Geschwindigkeit, welche das fließende Wasser hat. Dies erfährt man dadurch, daß man einen Stab oder eine Kugel von Eichenholz, eine theilweis gefüllte und verschlossene Flasche, welche größtentheils untertauchen, oder aber zwei mit einander verbundene Kugeln, wovon die schwerere vollständig und die leichtere beinahe ganz untertaucht, mitten in das Flußbett ꝛc. wirft und beobachtet, wie lange der Gegenstand braucht, um eine gemessene Strecke zu durchlaufen.

Digitized by Google

Dadurch erhält man die Geschwindigkeit in der Mitte des Flusses und unmittelbar unter dem Wasserspiegel oder im sogenannten Stromstrich. An der Oberfläche, so wie am Boden und an den Wänden bewegt sich das Wasser etwas langsamer, und man kann nach Beobachtungen annehmen, daß man für die gesammte Wassermasse nur eine Geschwindigkeit rechnen darf, welche $^8/_{10}$ der auf die genannte Weise gemessenen beträgt.

Multiplicirt man alsdann den Querschnitt des Fluß- oder Canalbettes mit $^8/_{10}$ der beobachteten Geschwindigkeit, so erhält man die per Secunde durchgeflossene Wassermenge.

Zeigt z. B. der in das Wasser geworfene sogenannte Schwimmer eine Geschwindigkeit von 0,9 Meter an, so fließen durch ein Flußbett von 30 Meter Breite und bei einer durchschnittlichen Tiefe des Wassers von 1,2 Meter in der Secunde 0,8 . 0,9 . 30 . 1,2 d. i. 25,9 cbm.

c) Die Wasserräder und sonstigen Wasserdruckmotoren.

121. In welcher Weise wirkt das Wasser beim Betriebe der Wasserräder?

Diese Wirkung vollzieht sich entweder so, daß das Wasser in einen Füllungsraum des Rades, die Radzellen oder Kübel, einfließt und durch sein Gewicht, welches einseitig am Rade wirkt, dieses in Umdrehung setzt; oder aber das fließende Wasser schlägt auf die in den Wasserstrom eintauchenden Radschaufeln auf und theilt diesen in Folge der sogenannten lebendigen Kraft (vergl. Kapitel 2 Fr. 18), d. h. vermöge der dem fließenden Wasser innewohnenden Wirkungsgröße die Bewegung mit.

Im ersteren Falle wirkt das Wasser blos durch Druck; im zweiten Falle durch Stoß. Die erstere Art der Wirkung ist viel vortheilhafter. Bei der Druckwirkung des Wassers hängt die Größe der Radwirkung ebensowohl von dem Gewichte des in jeder Secunde in das Rad strömenden Wassers, als auch von der Höhe — dem Gefälle — ab, welche das Wasser während seiner Wirkung durchfällt.

Digitized by Google

Die Größe der zweiten Wirkungsart, nämlich der Stoßwirkung, richtet sich aber nach dem Gewichte des auftreffenden Wassers und der Geschwindigkeit, mit welcher es auf das Rad trifft, und zwar übt nach der angeführten Fr. 18 das Wasser bei doppelter Geschwindigkeit die vierfache und bei dreifacher Geschwindigkeit eine neunfache Wirkung aus.

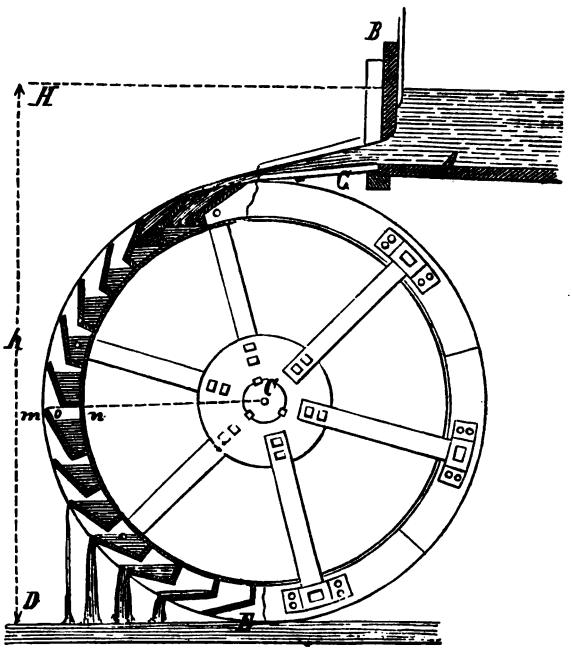


Fig. 104.

122. Was für Arten von Wasserrädern unterscheidet man?

Zunächst unterscheidet man gewöhnliche oder verticale Wasserräder, d. h. Räder, die in verticaler (lothrechter) Richtung

Digitized by Google

umlaufen und deren Welle horizontal ist, und Räder mit verticaler Welle oder Turbinen. — Im strengen Sinn des Worts versteht man aber unter einer Turbine ein Wasserrad, bei welchem das Betriebswasser gleichzeitig auf den ganzen Radumfang oder doch auf mehrere Punkte desselben wirkt.

Die gewöhnlichen oder verticalen Wasserräder theilt man wieder ein in ober-, mittel- und unterschlächtige Räder. Die Benennung richtet sich darnach, ob das Wasser nahe am höchsten Punkte des Rades, oder in der Mitte, oder an einem tiefergelegenen Punkte auftrifft.

Die bekannteren Turbinen sind

Die Fourneyron'sche, die Henschel-Jonval'sche, die schottische und die Zuppinger'sche Turbine (Tangentialrad); ferner von den neueren Abänderungen: die Francis- und Girard'sche Turbine.

123. Wie sind die oberschlächtigen Wasserräder eingerichtet?

Wie Fig. 104 zeigt, wird das Wasser durch einen Canal A so auf das Rad geleitet, daß es mit nur geringer Geschwindigkeit nahe unter dem höchsten Punkte des Rades, dem Scheitel, in die Radzellen oder Kübel einfließt, und wie mon zeigt, dieselben nicht ganz füllt, damit es möglichst lange im Rade bleibt.

Der Zufluß wird durch die Schütze (Stellfalle) B regulirt und das Wasser außerhalb derselben durch ein sogenanntes Gerinne G von schwacher Neigung auf das Rad geleitet.

Um die Wirkungsgröße des Wassers zu bestimmen, muß das Gewicht des in jeder Secunde zufließenden Wassers berechnet und dasselbe dann nach Kapitel 2 Fr. 17 mit der durchgefallenen Höhe oder dem Gefälle h = HD multiplicirt werden.

Die Radwirkung beträgt dann etwa 0,7 bis 0,75 des so erhaltenen, dem Aufschlagewasser zukommenden Arbeitsvermögens; die anderen $^3/_{10}$ bezw. $^{25}/_{100}$ der Wirkungsgröße des Wassers werden durch die Reibung ꝛc. aufgezehrt.

Digitized by Google

124. Wie sind die mittelschlächtigen Wasserräder beschaffen?

An dieselben schließt sich, wie Fig. 105 zeigt, gewöhnlich ein kreisförmiges, dem Radumfange anpassendes Gerinne an, so daß möglichst wenig Betriebswasser unbenützt durchfließt. Das Rad hat dann entweder einfache Schaufeln, welche in den Radumfang eingesteckt sind, oder dieselben sind an den zwei hervorragenden Seitenwänden befestigt, wie in unserer Darstellung, und bilden so eigentliche Zellen oder hohle Räume.

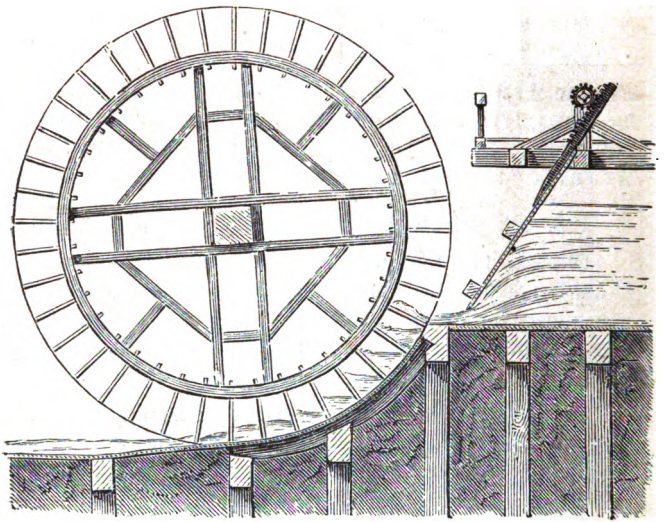


Fig. 105.

Die Wirkungsgröße dieser Räder wird in gleicher Weise bestimmt, wie bei den oberschlächtigen. Der sogenannte Nutzeffect der mittelschlächtigen Wasserräder beträgt in der Regel aber nicht mehr als 60 und nur in seltenen Fällen 70 Procent der dem zuströmenden Wasser innewohnenden Leistungsfähigkeit.

Digitized by Google

125. Welche Einrichtung haben die unterschlächtigen Wasserräder?

Diese Räder befinden sich gewöhnlich in einem geraden, schwach geneigten Gerinne, wie Fig. 106 zeigt. Das Wasser übt seine Wirkung durch Aufstoßen auf die ihm entgegenstehenden Radschaufeln aus, wirkt also, wie bereits erwähnt, nicht so vortheilhaft, als wenn nur ein bloßer Druck ausgeübt würde.

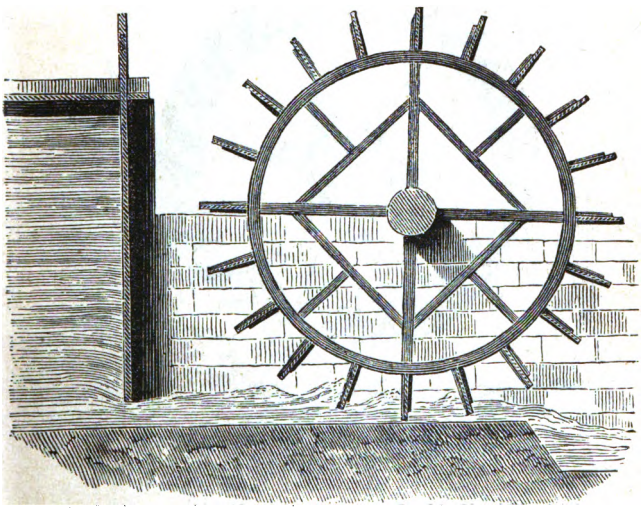


Fig. 106.

Multiplicirt man das Gewicht des secundlichen Aufschlagswassers mit dem Höhenabstand des Ober- vom Unterwasserspiegel (d. h. des Zu- und Abflußwassers), so darf man nur $1/3$ davon als die wirkliche Radleistung annehmen.

Größere Wirkung übt das Rad aus, wenn dessen Schaufeln, wie in Fig. 107 S. 114, dem sogenannten Poncelet-Rad,

Digitized by Google

gekrümmt sind. Hier wirkt das Wasser mehr durch Druck als durch Stoß.

Hängt ein Rad im fließenden Strom, wie die sogenannten Schiffsmühlenräder Fig. 108, so ist dessen Wirkung die allergeringste und beträgt nur $^1/_4$ des Arbeitsvermögens des auftreffenden Wassers.

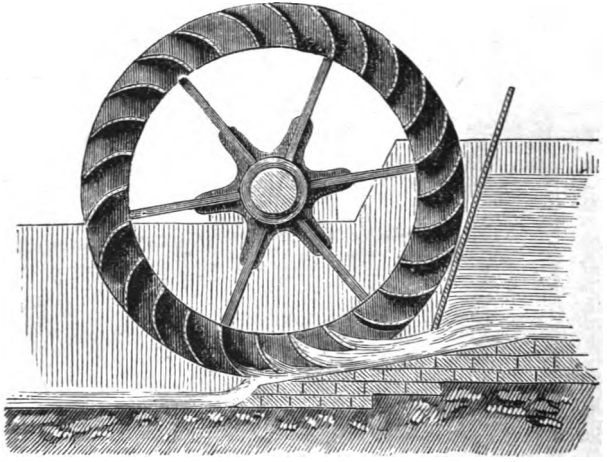


Fig. 107.

126. Wie ist die Fourneyron'sche Turbine beschaffen?

Diese von dem Franzosen Fourneyron erfundene Turbine besteht, wie Fig. 109 zeigt, aus einem feststehenden, mit gebogenen Schaufeln, den Leitschaufeln, versehenen Theile, welcher von dem beweglichen, mit entgegengesetzt gekrümmten Schaufeln versehenen Radkranze oder dem Turbinenrad D umschlossen wird. Der unbewegliche Leitschaufelapparat ist, wie aus Fig. 110 S. 116 zu ersehen ist, mit einem feststehenden Rohre verbunden, während die eigentliche, die Bewegung fortpflanzende Radwelle F durch den sogenannten Bodenteller E E Fig. 110

Digitized by Google

S. 116 mit dem Radkranze D verbunden iſt. — Dadurch, daß die Leit- und Radſchaufeln die entgegengeſetzte Krümmung haben,

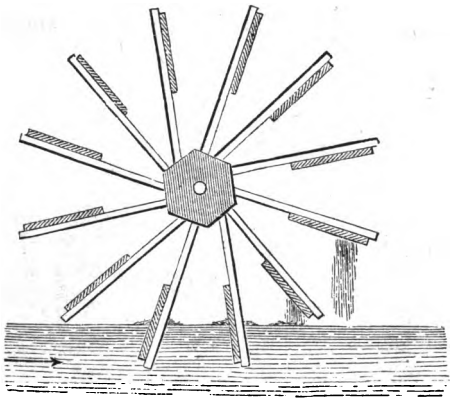


Fig. 108.

erreicht man, daß das in den Radkranz eintretende Waſſer einen Druck gegen die Schaufeln ausübt und das Rad in der durch den Pfeil angedeuteten Richtung in Umdrehung ſetzt.

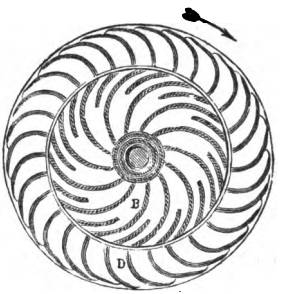


Fig. 109.

Der Radkranz iſt in mehrere übereinander liegende Abtheilungen getheilt, damit das Zuflußwaſſer ſich nicht zu ſehr verſpritzt und unwirkſam durchfließt. Der Einfluß des von AA aus bei BB Fig. 110 auf das Rad einwirkenden Betriebswaſſers wird durch eine cylindriſche Schütze CC, welche durch die Stange bb verſtellt wird, regulirt.

Digitized by Google

Die Hebelvorrichtung LHK dient zur richtigen Stellung des Zapfenlagers.

Die Wirkung dieser Turbine ist eine sehr bedeutende, indem das Wasser fast ganz ohne Stoß in das Rad eintritt und nur durch Druck, d. h. durch sein Gewicht, wirkt. Es beträgt die

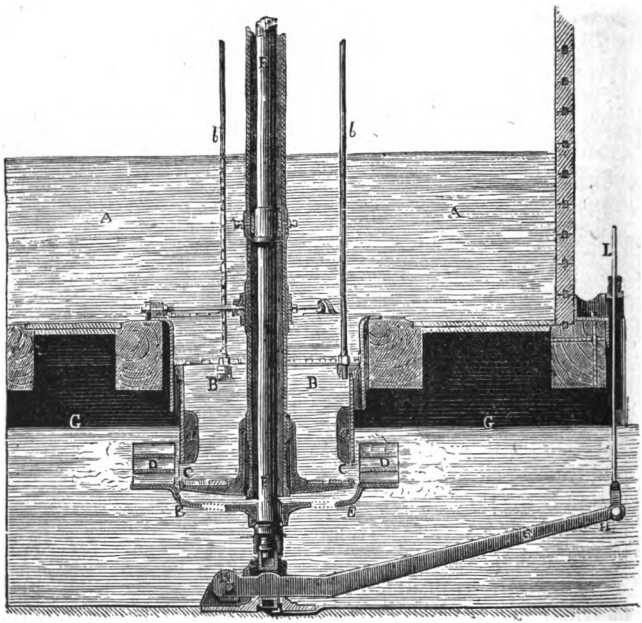


Fig. 110.

Wirkungsgröße bis 75 Procent derjenigen mechanischen Arbeit, welche der vom Oberwasser- bis zum Unterwasserspiegel BB herabsinkenden Wassermasse zukommt.

Der Vortheil dieser, wie aller Turbinen überhaupt, ist ferner der, daß sie verhältnißmäßig klein sind und namentlich bei hohem Gefälle eine bedeutende Geschwindigkeit annehmen. Ferner ist

Digitized by Google

als weſentlich hervorzuheben, daß ſie bei jedem Gefälle mit Vortheil benützt werden können und daß ſie auch unter Waſſer gehen können, alſo vor dem Einfrieren viel mehr geſchützt ſind, als gewöhnliche Waſſerräder.

In St. Blaſien auf dem badiſchen Schwarzwalde war lange Zeit eine Fourneyron'ſche Turbine in Thätigkeit, welche bei einer ſecundlichen Waſſermenge von 1,27 Cubikfuß und einem Gefälle von 360 Fuß 2300 Umdrehungen per Minute machte, einen Nutzeffect von 28 Pferdekräften ausübte und einen innern Durchmeſſer von nur 6½ Zoll hatte.

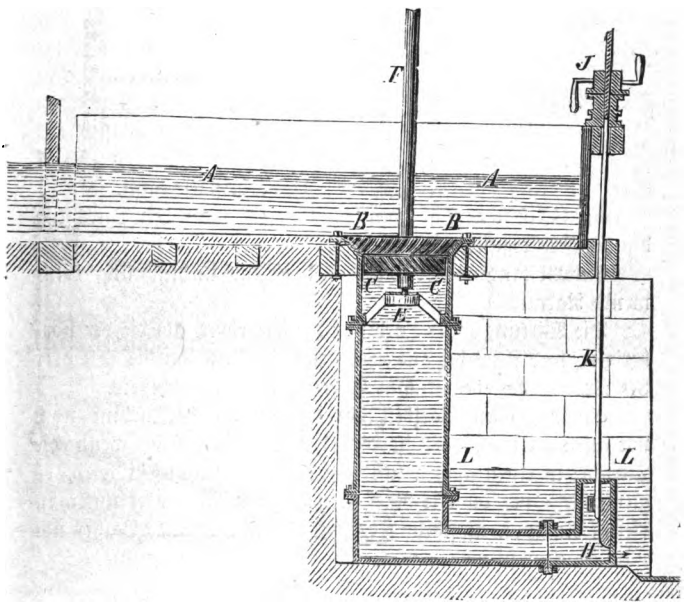


Fig. 111.

127. Worin iſt die Henſchel-Jonval'ſche Turbine von der eben beſchriebenen verſchieden?

Die vom Hrn. Oberbergrath Henſchel in Caſſel erfundene und von dem Fabrikanten Köchlin in Mülhauſen und deſſen

Digitized by Google

Ingenieur Jonval verbesserte, durch Fig. 111 und 112 dargestellte Turbine weicht von der vorigen insofern ab, als der feststehende Leitschaufelapparat BB über dem eigentlichen Turbinenrad CC sich befindet. Die in dem Zapfenlager E gestützte Axe oder Radwelle F durchdringt den Leitschaufelapparat und überträgt die empfangene Bewegung vermittelst der angebrachten Transmissionen auf beliebige Arbeitsmaschinen. Die unter einander befindlichen schraubenflächenartig gebogenen Leit- und Radschaufeln haben wieder eine entgegengesetzte Stellung, damit das durchfließende, gegen die Radschaufeln hingeleitete Wasser auf diese den nöthigen Druck hervorbringen kann.

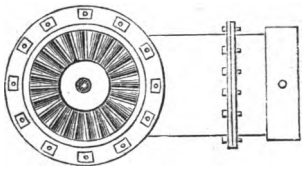


Fig. 112.

IKH ist eine Vorrichtung, wodurch man den Durchfluß des Wassers regulirt.

Der Abstand von AA und LL ist das in Rechnung kommende Radgefälle.

Die Wirkung dieser Turbine ist noch größer, als die der vorherigen, und steigt bei ausgezeichneter Construction bis 0,8 oder 80 Procent des theoretischen Effects des Betriebswassers.

Einen großen Vortheil hat die Henschel'sche Turbine noch vor allen anderen. Es ist dies der Umstand, daß, wenn die Turbine in einen hohlen luftdichten Cylinder eingesetzt wird, es gleichgültig ist, ob das Rad oben, in der Mitte oder unten in diesem Reservoir angebracht ist. Das durchfließende Wasser übt nämlich eben so wohl eine Saug- als Druckwirkung aus.

128. Welche Beschaffenheit hat die schottische Turbine?

Die schottische oder Whitelaw'sche Turbine ist ein sogenanntes Reactionsrad (vergl. Fr. 116), bei welchem das Wasser einseitig aus dem Rade fließt und in Folge dessen auf die der Oeffnung entgegengesetzte Seite einen Ueberdruck ausübt. Fig. 113 und 114 stellen dieses Rad vor.

Digitized by Google

Daſſelbe beſteht aus zwei, drei oder mehr gebogenen Röhren D, deren Enden in dem Umfange eines Kreiſes liegen. Tritt nun das von oben, oder auch, wie unſer Bild zeigt, von einer Höhe A B herabſinkende Waſſer von unten in das Rad, und iſt das Waſſer gezwungen, bei a a a einſeitig aus den gebogenen

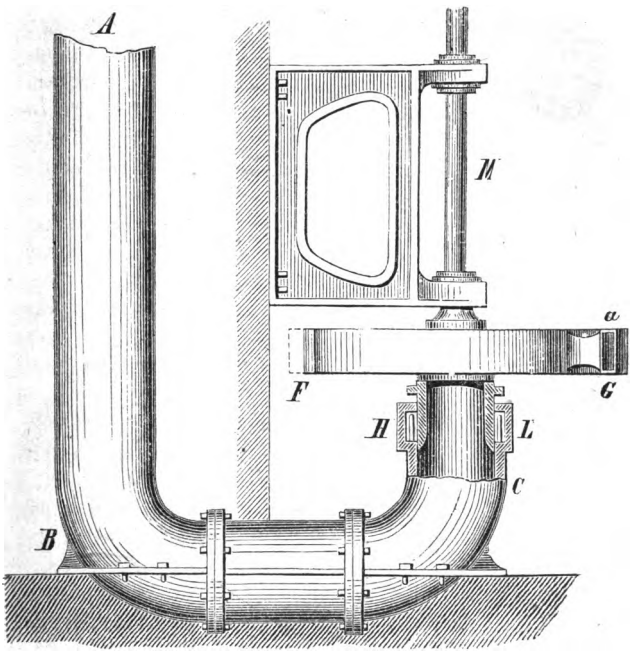


Fig. 113.

Röhren auszuſtrömen, ſo theilt es dem Rade oder Röhrenapparate die umgekehrte, durch die Pfeilrichtung Fig. 114 angezeigte Bewegung mit.

M iſt die Radwelle, welche bei H L in einer Dichtung oder Liederung läuft.

Digitized by Google

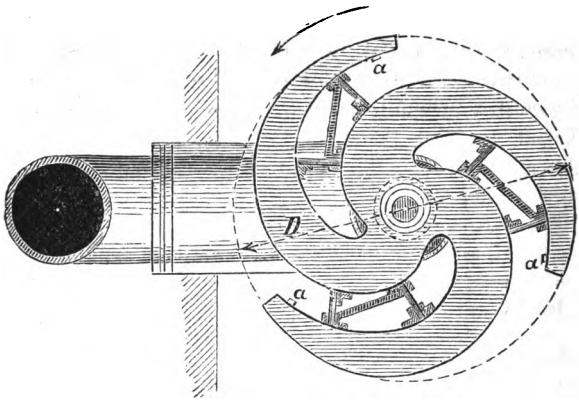


Fig. 114.

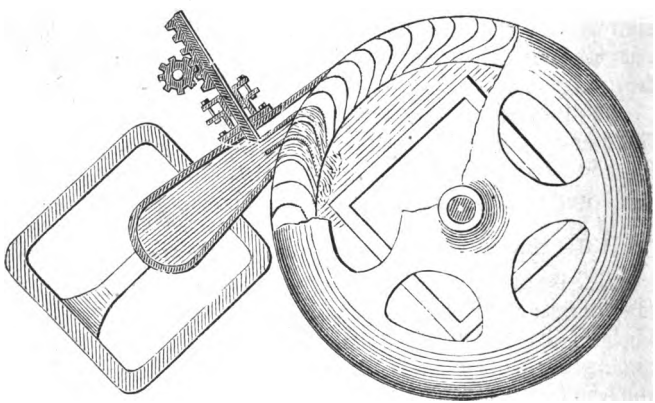


Fig. 115.

Die Wirkung dieser Turbine ist etwas geringer, als die der vorigen, und eignet sich das Rad hauptsächlich für hohe Gefälle und geringe Wassermengen.

Digitized by Google

129. Wie ist die Zuppinger'sche Turbine beschaffen?

Die Zuppinger'sche Turbine, besser Tangentialrad genannt, ist nichts Anderes, als ein horizontalliegendes Poncelet-rad, welchem, wie Fig. 115 zeigt, das Wasser von der Seite zugeführt wird, so daß es nur auf eine oder wenige Radschaufeln aufschlägt, während bei den früher beschriebenen Turbinen das Wasser auf den ganzen Umfang oder wenigstens auf verschiedene Stellen desselben gleichzeitig einwirkt.

Das Rad eignet sich hauptsächlich für bedeutende Gefälle und ein geringes Wasserquantum und giebt einen Nutzeffect von 60—70 Procent.

Man nennt diese Turbine auch Poncelet-Turbine.

130. Wie ist die Einrichtung der Francis-Turbine?

Dieselbe ist eigentlich nur eine Abänderung der Fourneyron'schen Turbine und zwar in der Art, daß das Wasser von außen nach innen in das Rad geleitet wird, wie bei dem Tangentialrade. Der feste Leitschaufelapparat ist also außen und umgiebt das bewegliche oder Laufrad, während Fourneyron dies umgekehrt angebracht hat.

Weitere Ausbildungen der Francis-Turbine sind die Fink'sche, Fischer'sche, Nagel & Kaemp'sche und die Zeidler'sche Turbine, bei welchen namentlich die Regulirung der Wasserzuführung oder Beaufschlagung eine Verbesserung gefunden hat.

131. Wie ist die Girard'sche Turbine eingerichtet?

Die Girard-Turbine ist eine verbesserte Henschel-Jonval'sche Turbine; es fließt also bei derselben das Wasser von oben nach unten in der Richtung der Radaxe. Vom Jonval'schen Rade unterscheidet sich die Girard-Turbine durch eine zweckmäßigere Aufstellung, indem nämlich die hohle drehbare Radwelle sich über dem Oberwasser auf eine feststehende Säule stützt und somit das Laufrad sammt dessen, um jene Säule sich drehende Welle oben aufgehängt sind; ferner zeichnet sich die Girard'sche Turbine noch durch eine bessere Verwerthung der Wasserleistung aus und ist in der Construction noch insofern verschieden, als die Canäle

Digitized by Google

des Laufrades sich nach unten erweitern und vom Wasser nicht ganz ausgefüllt werden.

Auch befindet sich diese Turbine in keinem besondern d. h. dicht abgeschlossenen Reservoir und ist in der Regel über dem Unterwasser *).

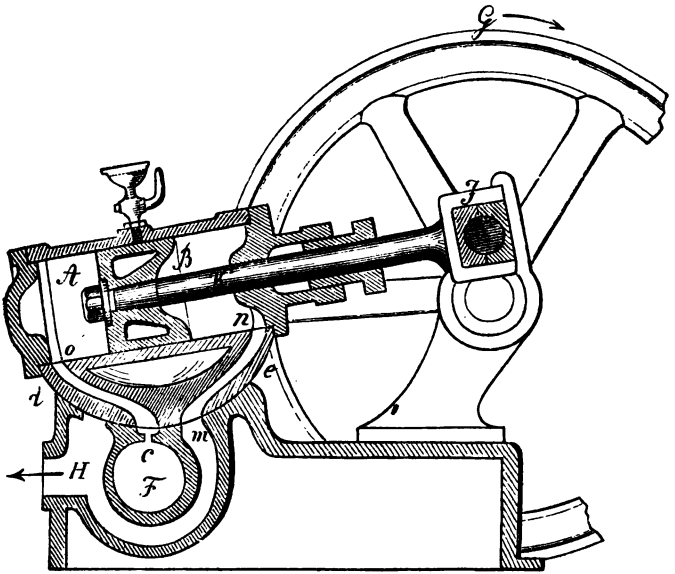


Fig. 116.

132. Was versteht man unter Wasserdruckmotoren?

Diese erst in neuerer Zeit bekannt gewordenen, vom Ingenieur A. Schmid in Zürich erfundenen und von demselben, sowie von den Herren J. Haag in Augsburg, Wyß und Studer

*) In allerneuester Zeit macht eine vom Ingenieur G. Knoy in Gotha construirte, der Girard'schen ähnliche Turbine durch ihre große Leistungsfähigkeit, welche über 80% betragen soll, Aufsehen. Näheres über die Construction kann noch nicht angegeben werden.

Digitized by Google

in Zürich, Böhler und Großmann in Pforzheim gelieferten interessanten Betriebsmaschinen eignen sich hauptsächlich zur Benutzung geringer Wassermengen als Triebkraft, zumal wenn das Gefälle entsprechend groß ist; doch können solche auch bei geringem Gefälle mit Nutzen verwendet werden. Fig. 116 stellt den Schmid'schen Motor dar. — Das Wasser tritt bei demselben abwechselnd an dem einen und andern Ende in den Cylinder A, welcher um zwei seitlich angebrachte Zapfen schwingt, und treibt dabei einen Kolben K hin und her. Der Cylinder A liegt in einer schalenartigen Vertiefung d c e und macht in dieser die schaukelnde Bewegung. Dabei gelangt das durch das Rohr F zutretende Betriebswasser vermittelst der Canäle c o und m n bald links, bald rechts in den Cylinder und bewegt den Kolben in gleicher wechselnder Richtung. Die Bewegung des Kolbens wird dann durch die Stange K J der Schwungradkurbel J mitgetheilt und in Folge dessen das Schwungrad G und die damit verbundene Arbeitswelle in Umdrehung gesetzt. Das Wasser fließt, wie die Figur zeigt, nach vollbrachter Wirkung durch das Rohr H ab. Die an den Seiten des Cylinders angebrachten Zapfen, um welche der Cylinder schwingt, werden durch ein Gestell getragen. Die von den Herren Böhler und Großmann in Pforzheim gelieferten Wasserdruckmotoren haben insofern eine andere Construction, als die Auflagerung des Cylinders nicht seitlich, sondern am Kopfende stattfindet. Dieses Etablissement liefert Motoren von der Stärke einer Mannesleistung an; es sind dies, wenn ein bedeutendes Gefälle zu Gebote steht, äußerst niedliche Maschinchen.

Die Wasserdruckmotoren werden auch zum Betriebe von Pumpwerken benutzt.

Digitized by Google

Zehntes Kapitel.

Vom Luftdruck und dessen Anwendung.

a) Größe des Luftdrucks.

133. Uebt die Luft in der That einen Druck aus?

Ja, die Luft übt einen Druck auf alle Körper aus. Wir bemerken dies u. A. daran, daß aus einer mit Wasser ꝛc. gefüllten, unten offenen und am obern Ende geschlossenen Glasröhre, so wie aus einem vollen gut zugespundeten Fasse auch bei geöffnetem Hahne Nichts herausfließt, so lange der Raum, in welchem die Röhre, das Faß ꝛc. sich befinden, mit Luft umgeben ist, — daß aber das Wasser sogleich fließt, wenn man die Röhre ꝛc. in einen luftleeren Raum bringt.

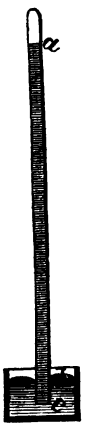


Fig. 117.

Unser Körper empfindet diesen Luftdruck deshalb nicht, weil derselbe von allen Seiten und selbst in seinem Innern wirksam ist und sich deshalb aufhebt. Sobald der Luftdruck aber nur einseitig wirken kann, wie in den oben genannten Fällen, nehmen wir denselben sogleich wahr.

134. Wie groß ist der Luftdruck?

Füllt man eine, an dem einen Ende geschlossene Glasröhre Fig. 117 mit Quecksilber und kehrt sie mit dem offenen Theile nach unten, so fließt bei gewöhnlichem oder mittlerem Luftdruck gar kein Quecksilber heraus, so lange nicht die Röhre eine Länge von mehr als 76 cm hat. Ist die Röhre aber länger, so fließt einiges Quecksilber aus, es bleibt aber immer eine Quecksilbersäule a b von 76 cm Länge in der Röhre zurück*).

Somit hebt der Druck der Luft den nach abwärts gerichteten Druck einer 76 cm oder 28

*) Die genannte Glasröhre ist nichts Anderes, als das bekannte, in der Physik näher zu beschreibende Barometer.

Digitized by Google

Pariser Zoll hohen Quecksilbersäule auf und ist darum gerade so groß wie der Druck derselben.

Auf die Weite der Röhre kommt es nicht an, da in gleichem Maße, als eine Quecksilbersäule von größerem Durchmesser einen stärkeren Druck ausübt, auch eine stärkere Luftsäule entgegenwirkt.

Wollte man den Luftdruck durch die Höhe einer durch denselben im Gleichgewicht erhaltenen Wassersäule messen, so müßte diese natürlich so vielmal höher sein als die Quecksilbersäule, als das Wasser leichter ist denn Quecksilber; dies erforderte also eine Wassersäule von 13,6 . 76 cm = 10,336 m Höhe.

Man kann darum auch sagen: Der mittlere Druck der atmosphärischen Luft auf irgend eine Fläche ist stets gleich dem Gewichte einer 10,336 m hohen Wassersäule, welche eben diese Fläche als Grundfläche hat*).

Da ein cbm reines Wasser 1000 k wiegt und ein Körper von 1 □m Grundfläche und 10,336 m Höhe einen Inhalt (Volumen) von 10,336 cbm hat, so beträgt also der mittlere Luftdruck auf 1 □m 10,336 . 1000 = 10336 k, somit auf 1 □dcm = 103,36 k, und auf 1 □cm = 1,0336 d. i. 1 k.

So groß ist der gewöhnliche oder mittlere Druck der Atmosphäre. Darum heißt man auch irgend einen durch Dampf, Wasser ꝛc. ausgeübten Druck von 10336 k auf 1 □m oder von 1 k auf 1 □cm einen „Druck von einer Atmosphäre". Dampf von 2, 3 ꝛc. Atmosphären ist also solcher, welcher einen 2mal, 3mal ꝛc. größeren Druck ausübt, als der Atmosphärendruck, oder welcher mit 2mal 10336 oder 3mal 10336 k ꝛc. auf 1 □m wirkt.

135. Kann man bewirken, daß die Luft einen noch größern Druck, als der genannte ist, ausübt?

Ja; wenn man nämlich die Luft, so wie auch andere Gase und Dämpfe in einem verschlossenen Cylinder vermittelst eines

*) Wir sprechen von einem mittleren Luftdruck, weil, wie das Barometer angiebt, der atmosphärische Druck veränderlich ist und darum das Barometer um Weniges bald steigt, bald fällt.

Digitized by Google

an der Wand gut anschließenden Kolbens zusammenpreßt, so übt die gepreßte Luft dann in dem Maße einen stärkeren Druck aus, als ihr Raum sich vermindert hat; d. h. wird die Luft auf den halben Raum zusammengepreßt, so übt sie einen doppelt so starken Druck aus, als oben gesagt ist. Preßt man die Luft auf $^1/_3$ oder $^1/_4$ 2c. 2c. ihres ursprünglichen Raumes zusammen, so ist der von ihr ausgeübte Druck 3mal, 4mal 2c. 2c. größer als am Anfange. Umgekehrt nimmt der Druck einer eingeschlossenen Luft- oder Dampfmenge ab, wenn sich dieselbe in einem größern Raum ausdehnen kann, und ist bei doppeltem, 3fachen, 4fachen 2c. 2c. Raum 2mal, 3mal, 4mal 2c. schwächer als anfänglich.

Dieses Verhalten ist durch das sogenannte Mariotte'sche Gesetz ausgesprochen, welches heißt: Die Spann- oder Expansivkräfte einer und derselben Luft- oder Dampfmasse stehen immer im umgekehrten Verhältniß zu deren Volumina.

Die Spannkraft oder das Druckvermögen der Luft 2c. kann auch durch Erhitzung derselben gesteigert werden. Dies ist aber nur der Fall, wenn die Luft 2c. eingeschlossen ist. In einem offenen Gefäße würde sich nämlich die Luft bei eintretender Erwärmung ausdehnen und der Druck dabei gleich bleiben.

Die Zunahme des Druckes einer, in einem abgeschlossenen Raum erhitzten Luft- oder Gasmenge beträgt bei der Erwärmung um je einen Grad des hunderttheiligen Thermometers 0,00367 des ursprünglichen Druckes.

Kann die Luft sich ausdehnen, so nimmt ihr Volumen bei jedem Grade der Erhitzung um eben so viel, d. h. um 0,00367 des anfänglichen Kubikinhaltes, zu.

136. Wie mißt man höhere Spannungen der Gase und Dämpfe?

Diese Messung könnte ganz in der nämlichen Weise, wie in Fr. 134 gesagt wurde, gemacht werden, indem man, wie Fig. 118 darstellt, die gepreßte Luft 2c. durch die Röhre CD in ein mit Quecksilber gefülltes Gefäß GF eintreten läßt. Taucht eine zum Theil mit Quecksilber gefüllte Glasröhre, deren über dem Queck-

Digitized by Google

silber befindlicher Theil luftleer ist, in das Gefäß ein, so wird sich diese um so mehr mit dem im Gefäße befindlichen Quecksilber füllen, je größer die Spannung der zutretenden Luft ist.

Da nun aber bei gewöhnlichem Druck der Luft die verwendete Glasröhre schon eine Länge von etwas mehr als 76 cm haben müßte, so begreift man leicht, daß bei Gasen, deren Spannung 2, 3 und mehr Atmosphären beträgt, die Röhren sehr lang und darum die Vorrichtung unbequem und unzweckmäßig werden müßte. Man hat darum für die Messung höherer Spannungen besondere Instrumente, welche man Manometer nennt, erdacht.

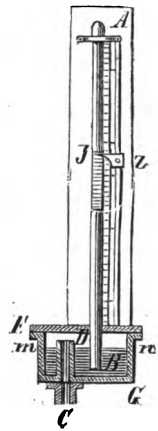


Fig. 118.

Ein solches Manometer ist das Luftmanometer, welches ganz so aussieht, wie das durch Fig. 118 dargestellte. Der obere Theil der Röhre AJ enthält aber Luft. Würde nun z. B. bei einem Atmosphärendruck der Quecksilberstand durch den Zeiger z angegeben werden und die Spannung des Gases wächst so, daß die Luft durch das eindringende Quecksilber auf die halbe Länge von AJ zusammengepreßt wird, so wäre der Druck desselben nach Fr. 135 dem doppelten Atmosphärendruck gleich.

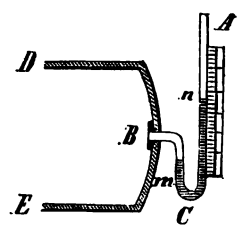


Fig. 119.

Man verwendet auch Manometer, deren oberer Theil offen ist, wie Fig. 119 zeigt. Hat nun die in dem Behälter DBE befindliche Luft die gleiche Spannung, wie die Atmosphäre, so wird das Quecksilber in den beiden Röhrenschenkeln BC und AC gleich hoch stehen. Uebt die eingeschlossene Luft (Gas, Dampf) einen stärkeren Druck aus, so wird das Quecksilber im Schenkel AC steigen und der

Digitized by Google

Unterschied des Queckſilberſtandes*) in beiden Röhrentheilen giebt den ſogenannten Ueberdruck der im Behälter befindlichen Luft an, d. h. er zeigt an, um wie viel dieſelbe ſtärker drückt, als die äußere Luft.

Da der Atmoſphärendruck durch eine 76 cm hohe Queckſilberſäule gemeſſen wird, ſo giebt alſo je 1 cm Queckſilberſtand $^1/_{76}$ Atmoſphärendruck an. Man ſieht, daß bei Spannungen von 4, 5, 6 oder mehr Atmoſphären auch dieſes Inſtrument eine unthunliche Länge erhalten würde. Darum hat man, wie unten bei den Dampfmaſchinen erklärt wird, für dieſen Zweck Manometer von ganz anderer Einrichtung conſtruirt.

b) Anwendungen des Luftdrucks.

137. Wo findet der Luftdruck Anwendung?

Außer bei den in der Phyſik näher beſchriebenen Stech- und Saughebern, dem Zauberbecher und Zaubertrichter, dem Schröpfkopfe, dem Heronsball und Heronsbrunnen, dem carteſianiſchen Taucher, der Knall- und Windbüchſe u. A. findet der Luftdruck vor Allem bei den verſchiedenen Arten von Pumpen und Gebläſen Anwendung.

1. Von den Pumpwerken.

138. Was für Arten von Pumpen giebt es?

Man unterſcheidet gewöhnliche Pumpen als: Die Druckpumpe, die Saug- oder Hebepumpe, doppeltwirkende Pumpen, ferner Rotations- oder Circularpumpen, Flügelpumpen, Centrifugalpumpen und die Dampf- und Waſſerſtrahlpumpen.

139. Wie iſt die Druckpumpe beſchaffen?

Die Saug- und Druckpumpe Fig. 120 beſteht, wie alle gewöhnlichen Pumpen, aus dem ſogenannten Pumpenſtiefel oder Cylinder A, in welchem ſich der Kolben B auf- und abbewegt. Das angebrachte Saugrohr C taucht in das

*) Für die Druckbeſtimmungen bei Beleuchtungsgas ſind die Manometer mit Waſſer gefüllt, da der Ueberdruck nur ſehr gering ſein ſoll.

Digitized by Google

aufzusaugende Wasser ꝛc. ein; ein zweites, das Druckrohr b, führt in den Windkessel D, von welchem aus das sogenannte Steigrohr d weiter geht. Zur Vervollständigung der Pumpe

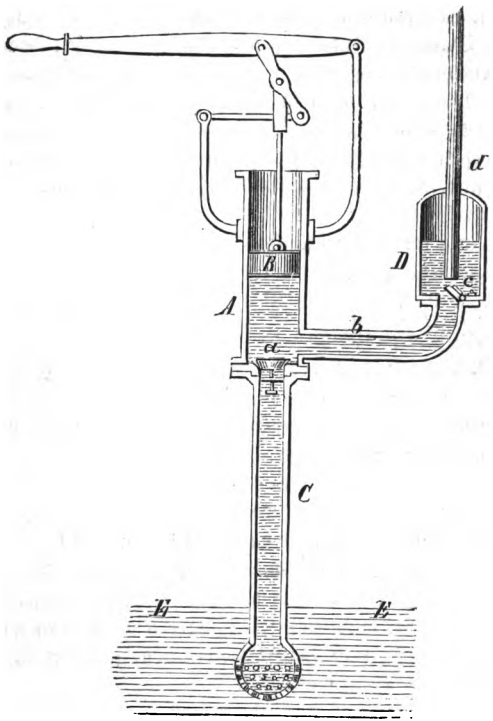


Fig. 120.

gehören dann noch zwei Ventile oder Klappen und zwar das sogenannte Saugventil a und das Druckventile c, welche das Zurückfließen des Wassers verhindern sollen.

Wird nun vermittelst des angebrachten Hebels der Kolben in die Höhe gezogen, so entsteht, wie die Physik lehrt, unter dem

Digitized by Google

Kolben ein leerer oder vielmehr ein luftverdünnter Raum. Die Folge ist, daß durch den von der atmosphärischen Luft ausgeübten Druck das Saugventil a gehoben wird und die in der Röhre C befindliche Luft oder Wasser in den Pumpenstiefel eindringt. Beim Abwärtsgehen des Kolbens wird durch den dadurch ausgeübten Druck das Ventil a geschlossen und dagegen das zweite oder Druckventil c gehoben. Das vorher in den Cylinder eingesaugte Wasser wird nun in den Windkessel gedrängt. Dadurch wird die dort eingeschlossene Luft zusammengepreßt und übt in Folge dessen einen verstärkten Druck auf das eingedrungene Wasser und treibt dasselbe durch das Steigrohr in einem ununterbrochenen Strahl aufwärts und zwar um so höher, je stärker die Pressung im Windkessel ist.

Bei erneutem Aufwärtsziehen des Kolbens öffnet sich das Ventil a wieder, während durch den Druck der gespannten Luft im Windkessel das Ventil c geschlossen wird.

140. Inwiefern hat die Hebepumpe eine andere Einrichtung?

Bei der Saug- und Hebepumpe, unseren gewöhnlichen Pumpbrunnen, ist keine Druckröhre und in der Regel auch kein Windkessel angebracht. Das Druckventil e ist, wie man in Fig. 121 sieht, bei dieser Pumpe in dem durchbrochenen Kolben angebracht.

Das Spiel der Pumpe geht hier einfach so vor sich, daß das durch die Saugröhre c und das Ventil f in den Cylinder a b eingesaugte Wasser, da es sich nicht zusammendrücken läßt, bei dem Niedergange des Kolbens das Ventil e öffnet und über den Kolben tritt. Bei wiederholtem Aufwärtsgehen des Kolbens wird das darüber befindliche Wasser in die Höhe gehoben und fließt dann durch das Ausgußrohr d ab.

Der Seiher h soll verhindern, daß Holz- ꝛc. stücke in den Pumpencylinder gelangen und die Maschine verderben.

141. Welche Einrichtung haben die doppeltwirkenden Pumpen?

Die doppeltwirkende Pumpe, von welcher Fig. 122 eine Darstellung giebt, soll bei jedem Hin- und Hergange des Kolbens Wasser ꝛc. ansaugen und gleichzeitig auch weiter befördern; darum wird sie auch doppeltwirkend genannt.

Digitized by Google

Zu dem Zwecke iſt der Pumpenſtiefel an beiden Enden verſchloſſen, während er bei einer einfachwirkenden Pumpe über dem Kolben offen ſein könnte; auch ſind doppelte Saugventile B B und eben ſo doppelte Druckventile C C vorhanden.

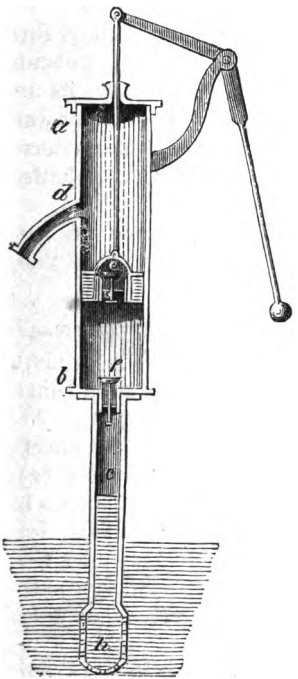


Fig. 121.

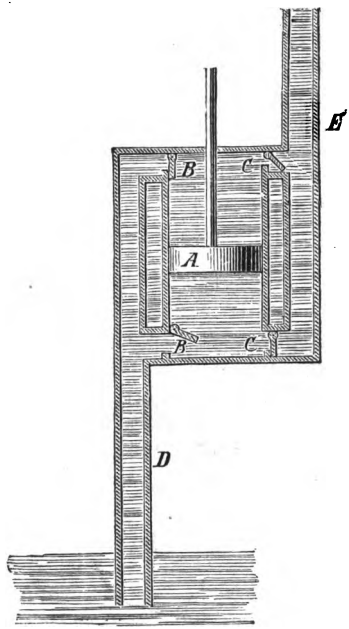


Fig. 122.

Der Vorgang iſt nun leicht einzuſehen. Geht der Kolben A aufwärts, ſo wird durch das untere Saugventil B Waſſer durch die Röhre D eingeſaugt. Gleichzeitig wird aber auch Waſſer, das ſich bereits über dem Kolben befindet, durch das obere Druckventil C in die Steigröhre E getrieben.

Digitized by Google

Beim umgekehrten Kolbenlauf wird durch das obere Ventil B Waſſer eingeſaugt und das unter dem Kolben befindliche durch das untere Ventil C verdrängt.

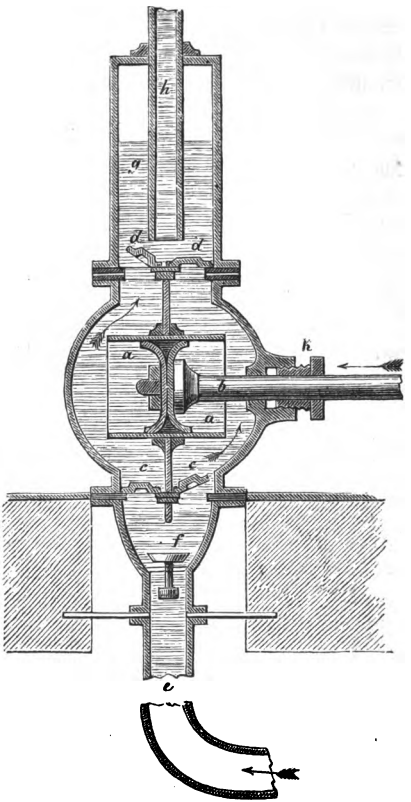


Fig. 123.

Ein Beiſpiel einer andern doppeltwirkenden Pumpe und zwar einer ſolchen mit horizontalem Cylinder zeigt Fig. 123. a a iſt der Cylinder oder Pumpenſtiefel, b der Kolben, c c ſind

Digitized by Google

die zwei Saug- und d d die Druckventile. e ist das Saugrohr mit einem besonderen Absperrventil f, welches das Entleeren der Pumpe nach längerem Ruhezustande verhüten soll; g ist der Windkessel und h die Steigröhre; bei k endlich ist eine sogenannte Stopfbüchse mit der Abdichtung der Kolbenstange.

Das Spiel der Pumpe, deren Wasserraum zwischen den Saug- und Druckventilen durch eine senkrechte Zwischenwand in zwei Hälften getrennt ist, ergiebt sich durch nähere Betrachtung der Fig. und die dort die Bewegung anzeigenden Pfeile leicht.

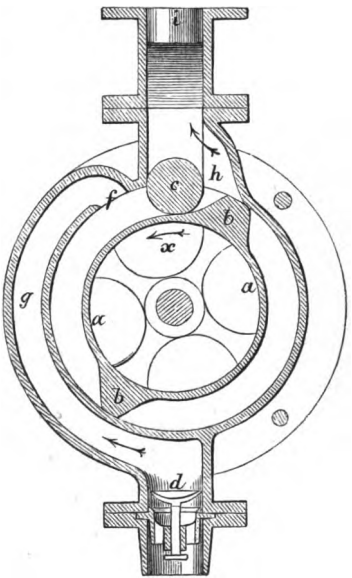


Fig. 124.

142. Wie sind die Rotationspumpen eingerichtet?

Die Rotations-, Dreh- oder Circularpumpen, wovon Fig. 124 eine Darstellung giebt, haben das Eigenthümliche, daß der Kolben a a durch eine außerhalb des Pumpengehäuses angebrachte Kurbel in Umdrehung gesetzt wird. Der Kolben ist sodann mit Knaggen oder Daumen b b versehen, welche dicht an dem Gehäuse anliegen; dieselben dienen dazu, bei der Drehung das Druckventil c, welches aus einem einfachen liegenden, gut abgedrehten und an den beiden Enden anschließenden Cylinder besteht, zu heben. Es ist leicht zu begreifen, daß bei der durch den Pfeil x angedeuteten Drehung des Kolbens der Raum zwischen dem Druckventil und dem links

Digitized by Google

befindlichen Daumen b vergrößert wird; die Folge ist, daß bei f eine Luftverdünnung eintritt und darum das Wasser durch das Saugventil d und den Canal g eingesaugt wird und bei f in das Pumpengehäuse einströmt. Bei h fließt das vorher angesaugte, zwischen den beiden Daumen eingeschlossene Wasser aus und geht von da in das bei i anschließende Steigrohr.

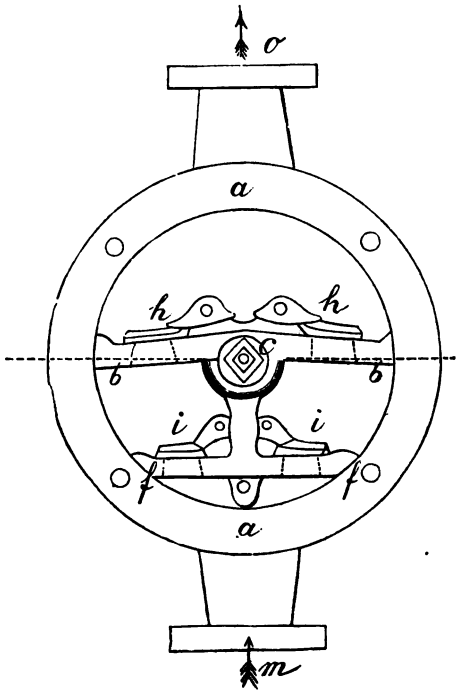


Fig. 125.

143. Welche besondere Beschaffenheit hat die Flügelpumpe?

Das Eigenthümliche der sogenannten Flügelpumpe von Allweiler, die sonst mit der Circularpumpe ziemlich über-

Digitized by Google

einstimmt, besteht darin, daß bei derselben, statt eines sich beständig drehenden Kolbens, ein um eine Axe c, Fig. 125 und 126, auf- und abschwingender Doppelflügel b b angebracht ist. Dieser Flügel ist auf der Axe c befestigt, liegt am Umfange des Pumpen-

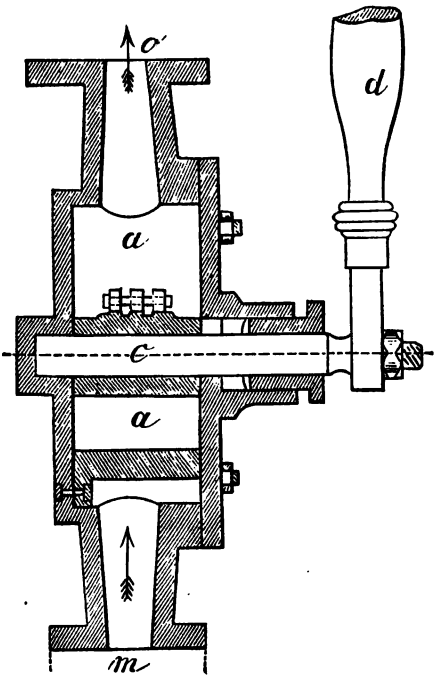


Fig. 126.

gehäuses a dicht an und erhält vermittelst einer, an der Axe außerhalb des Gehäuses angebrachten Handhabe oder eines Griffes d die schaukelnde Bewegung. An dem beweglichen Flügel befinden sich die Druckventile h h, während die Saugventile i i an der festen Platte f f angebracht sind. Bei m wird das Wasser

Digitized by Google

durch ein dort anschließendes Rohr eingesaugt und bei o weiter gefördert.

Das Spiel der Pumpe ist leicht einzusehen. Geht z. B. der Flügel b b auf der linken Seite aufwärts, so bleibt das dort befindliche Druckventil h geschlossen, während das Saugventil i (links) in Folge der über demselben entstehenden Luftverdünnung sich öffnen und also Wasser eindringen muß. Gleichzeitig wird

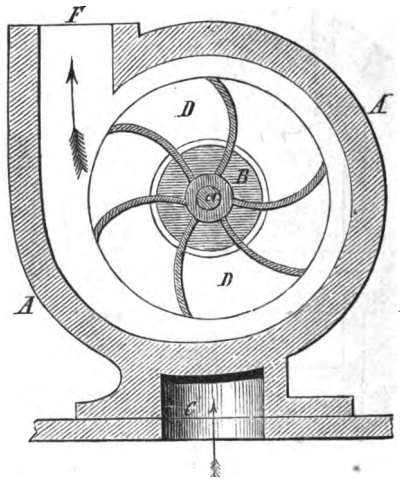


Fig. 127.

die auf der rechten Seite zwischen Saug- und Druckventil bereits befindliche Flüssigkeit durch das sich dort öffnende Druckventil h (rechts) nach oben in die Steigröhre verdrängt.

Diese Pumpe, sowie die vorigen Rotationspumpen sind, wie man sieht, doppeltwirkend.

144. Wie ist die Centrifugalpumpe beschaffen?

Die Centrifugalpumpe Fig. 127 besteht aus einem einfachen Gehäuse A A, das in der Mitte bei B offen ist, und

Digitized by Google

einer mit gekrümmten Schaufeln oder Flügeln versehenen Welle a. Wird diese Welle nun in sehr rasche Umdrehung versetzt, so flieht die an derselben zunächst befindliche Luft vermöge der durch die Umdrehung erzeugten Centrifugalkraft (vergl. Kap. 3 Fr. 40) nach dem Umfang des Gehäuses. In Folge der dadurch entstandenen Leere tritt dann an der Oeffnung B neue Luft oder

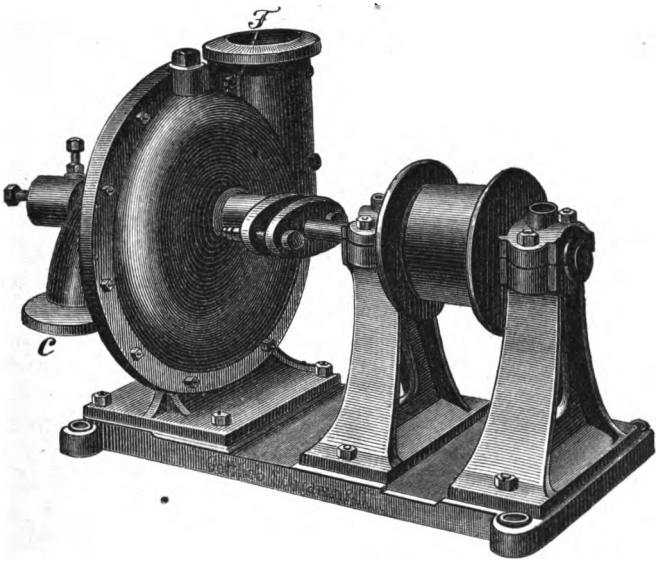


Fig. 128.

auch Wasser in das Innere, wenn nämlich eine angebrachte, in die Flüssigkeit eintauchende Saugröhre C an die Mündung B des Gehäuses anschließt.

Das angesaugte Wasser (Luft) strömt dann bei F ab.

Fig. 128 zeigt die Pumpe in ihrer vollen Ausrüstung.

Wird die Centrifugalpumpe angewendet, um blos Luft einzusaugen, so nennt man sie Ventilator. Dieser findet viel-

Digitized by Google

fache Anwendung als Gebläse, zur Ventilation der Bergwerke Tunnels ꝛc., ferner bei Mühlen ꝛc. und Fruchtreinigungsvorrichtungen. Die gewöhnliche, von dem Landmann angewendete Fruchtputzmühle ist ein solcher Ventilator.

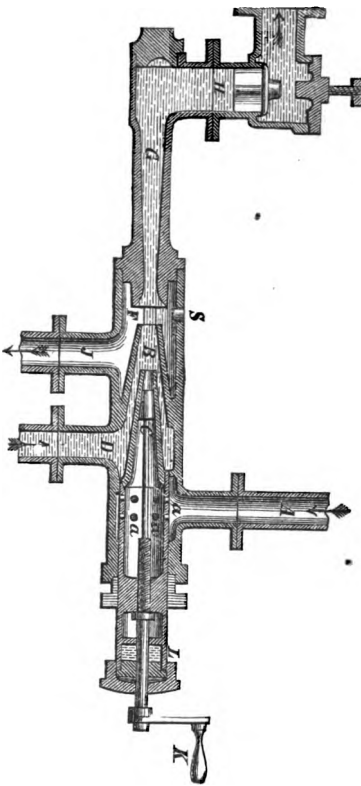


Fig. 129.

Die Centrifugalpumpe bietet viele Vortheile; sie ist sehr einfach, da keine Ventile nöthig sind, und nutzt sich nicht

Digitized by Google

leicht ab. Darum ist sie namentlich zum Heben unreiner Flüssigkeiten, schlamm- und sandführenden Wassers ꝛc. geeignet.

145. Welche Eigenthümlichkeit haben die sogenannten Strahlpumpen?

Die Dampfstrahlpumpe oder Giffard's Injecteur, Fig. 129, ist wesentlich anders eingerichtet. Die Luftverdünnung und also die Saugwirkung wird hier durch einen mit großer Geschwindigkeit aus enger Mündung in einen hohlen Raum ausströmenden Dampfstrahl erzeugt. Angewendet wird die Pumpe zur Speisung der Dampfkessel.

Zu dem Zwecke tritt bei A der aus dem Kessel kommende Dampf ein, strömt durch die Oeffnungen a a.a in ein Rohr L B, das sich bei B verengt. Durch einen sogenannten Conus C, welcher vermittelst eines Schraubengewindes und der Kurbel K verstellt wird, kann die zwischen dem kegelförmigen Körper (Ventil) C und der Wand der Röhre B gebildete ringförmige Ausflußöffnung für den Dampf noch nach Belieben verkleinert werden. Dadurch erreicht man, daß der Dampf mit außerordentlicher Geschwindigkeit bei B ausströmt. In Folge dessen reißt er die umgebende Luft mit sich; es entsteht also eine Leere und wird darum Wasser durch die Röhre D angesaugt. Das angesaugte kalte Wasser verdichtet den bei F in den Raum G einströmenden Dampf und das Gemische tritt alsdann durch das Ventil H als vorgewärmtes Wasser in den Dampfkessel. Durch J tropft das namentlich im Anfange des Pumpenspiels gesammelte Wasser ab. Bei S kann durch ein sogen. Sehloch beobachtet werden, ob die Pumpe richtig arbeitet.

Eine ähnliche Saugwirkung kann man durch einen aus einem engen, geschlossenen Canal in ein sich erweiterndes, dichtes Gehäuse strömenden Wasserstrahl erzeugen, wie dieses bei Nagel's (Thomson's) Wasserstrahlpumpe der Fall ist.

146. Giebt es nicht noch andere Pumpen und Anwendungen des Luftdrucks außer den genannten?

Es giebt allerdings noch vielerlei Pumpenconstructionen, allein dieselben zeigen meistens mehr oder weniger zweckmäßige

Digitized by Google

Anordnungen der genannten Pumpenarten. Wir führen von diesen an die von einem Mann leicht zu betreibende doppeltwirkende californische Pumpe mit liegendem Cylinder; ferner Griffith's Gartenspritze; Silbermann's Pumpe ohne Kolben und Ventile, welche aus einem bloßen luftdichten Schlauche besteht, der durch Zusammenpressen luftleer gemacht wird; die sogenannten amerikanischen Röhrenbrunnen (Abessinierbrunnen), vermittelst welcher in wasserführendem Boden in wenigen Stunden ein Brunnen, ohne irgend welche vorherige Arbeit 2c., hergestellt werden kann *).

Die Luftpumpe ist nicht anders als jede andere Druck- oder auch Hebepumpe eingerichtet. Neben deren eigentlicher Bestimmung, worüber sich die physikalischen Lehrbücher näher aussprechen, ist aber noch anzuführen, daß die Luftpumpe eine große technische Anwendung hat und zwar in Zuckersiedereien zur leichten Verdampfung des Wassers; in Papierfabriken zu rascher Trocknung des Papierzeugs; in Färbereien und bei Imprägnirung der Hölzer 2c. behufs des bessern Eindringens der Flüssigkeit; ferner zu Rammen, Pressen und Krahnen, so wie bei der atmosphärischen Briefbeförderung (Röhrenpost). Bei dieser wird durch eine Luftpumpe oder auch einen Ventilator Luft aus einer eisernen, in den Boden gelegten Röhre gesaugt. Durch die von der anderen Seite einströmende atmosphärische Luft wird dann ein leicht beweglicher hohler Kolben, welcher als Briefkasten dient, vorwärtsgetrieben.

Als Compressionspumpe ist die Luftpumpe auch schon bei größeren Arbeiten angewendet worden, wie namentlich zur Wasserverdrängung bei Anbringung von Brückenpfeilern in Flüssen von bedeutendem Wasserstande.

Hiebei wird verdichtete (comprimirte) Luft in eiserne Senkkästen, sogen. Caissons, die ohne Boden sind und versenkt werden, eingeführt, wodurch das Wasser aus den Kästen verdrängt wird.

*) Vergl. des Verfassers „Mechanik für Gewerbe 2c.-Schulen und zum Selbstunterrichte". 4. Aufl. Stuttgart, J. Engelhorn.

Digitized by Google

Die Senkkästen selbst werden dann, wenn sie auf festem Grund sitzen und die richtige Lage haben, ausgemauert. Die Arbeiter müssen natürlich durch aufgesetzte Röhren in die Kästen gelangen.

Dampfpumpen sind Pumpwerke, bei welchen der Pumpenkolben an der verlängerten Kolbenstange einer Dampfmaschine sich befindet; es ist also hier der Dampf als Triebkraft angewendet, welcher zunächst den Dampf- und mit diesem den Pumpenkolben in Bewegung setzt.

147. Wie sind die Gebläse eingerichtet?

Die Gebläse, welche die Bestimmung haben, einen verdichteten Luftstrom in eine Esse ꝛc. zu führen und dort eine beschleunigte Verbrennung und in Folge dessen eine hohe Temperatur zu erzeugen, zerfallen in eigentliche Blasebälge, Cylindergebläse und Ventilatoren.

Die Wirkung des gewöhnlichen Blasebalgs braucht kaum erklärt zu werden. Dadurch, daß derselbe abwechselnd auseinandergezogen und dann wieder zusammengepreßt wird, bewirkt man, daß äußere Luft in den verdünnten Raum eindringt, welche dann durch eine angebrachte Röhre beim Zusammendrücken des Blasebalgs mit Heftigkeit ausströmt.

Das Cylindergebläse ist wie die doppeltwirkende Pumpe Fig. 122 beschaffen und der Ventilator ist, wie in Fr. 144 schon angeführt wurde, nichts Anderes als eine Centrifugalpumpe, nur mit dem Unterschiede, daß dadurch Luft eingesaugt und an einen gewünschten Ort geführt wird. Daß der Ventilator zur Herstellung einer Luftleere oder Luftverdünnung angewendet werden kann, haben wir schon erwähnt; man braucht nur den zu entleerenden Raum mit der offenen Stelle an der Axe des Ventilators zu verbinden.

2) Die Feuerspritze.

148. Wie ist die Feuerspritze beschaffen?

Die Feuerspritzen sind nichts Anderes, als einstiefelige oder zweistiefelige Druckpumpen. Die Handspritze ist von der beschriebenen Druckpumpe in Nichts verschieden. Die gewöhnlichen

Digitized by Google

Wagenſpritzen beſtehen aus zwei Druckpumpen, welche beide das angeſaugte Waſſer einem und demſelben Windkeſſel zuführen. Fig. 130 ſtellt die gewöhnliche Feuerſpritze vor.

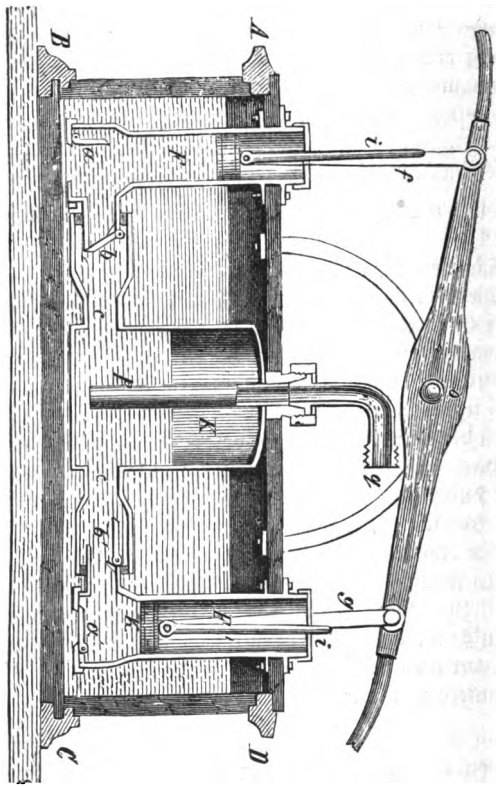


Fig. 130.

A B C D iſt der waſſerhaltende Kaſten, F und F¹ ſind die beiden Druckpumpen, a und a¹ ſind die Saug- und b und b¹ die Druckventile. Geht der eine Kolben aufwärts, ſo geht der

Digitized by Google

andere, wie aus der Abbildung zu ersehen ist, abwärts. Bei dem gegenwärtigen Kolbenstande ist, wie man leicht begreift, das Saugventil a auf der linken Seite, und das Druckventil b' rechts offen. Durch das dem Windkessel K zuströmende Wasser wird die dort vorhandene Luft auf eine bestimmte Spannung gebracht, bis man dem Ausgußstrahl den Abfluß durch das Standrohr q oder durch einen dort angeschraubten Schlauch gestattet. Es braucht kaum erwähnt zu werden, daß der Arbeitshebel um den Punkt o drehbar ist und daß f und g die damit verbundenen Kolbenstangen, i i aber sogenannte Führungs- oder Leitstangen behufs einer senkrechten Bewegung der Kolben sind.

149. Welche Wassermengen liefern Pumpen und Feuerspritzen?

Jede einfachwirkende Pumpe saugt natürlich bei jedem Zuge oder Hube einen Wasserkörper auf, welcher die Grundfläche des Kolbens und eine Länge hat, welche der Hublänge, d. i. der Länge des vom Kolben durchlaufenen Weges gleich ist. Man braucht also nur den cubischen Inhalt dieses Körpers zu berechnen, um die bei jedem Hube angesaugte und weiterbeförderte Wassermenge zu erhalten. Kennt man die Zahl der in der Minute ꝛc. gemachten Hübe oder Kolbenspiele, so hat man jene Wassermenge nur mit dieser Zahl zu multipliciren, um die Menge des in der fraglichen Zeit geförderten Wassers zu erhalten.

Eine doppeltwirkende Pumpe, so wie eine doppeltstiefelige Feuerspritze fördert natürlich die doppelte Wassermenge. Zu bemerken ist aber noch, daß, weil der Kolben und die Ventile nie vollkommen dicht schließen, die wirkliche Wassermenge nur etwa 80 bis 90 Procent oder höchstens $^9/_{10}$ der also berechneten Menge ist*).

*) Bei gut construirten Feuerspritzen ist dies etwas anders. Diese liefern nämlich bei einem Hube eine um $^1/_{10}$ bis $^2/_{10}$ größere Wassermenge, als der vom Kolben durchlaufene Raum oder die sogenannte theoretische Wassermenge beträgt. Die Ursache dieses auffallend scheinenden Umstandes ist, daß durch das in Bewegung begriffene Wasser (d. h. durch die dem Wasser innewohnende sog. „lebendige Kraft") das Saugventil noch eine Zeit lang offen gehalten wird, wenn der Kolben schon den entgegengesetzten Gang angenommen hat.

Digitized by Google

Hat also eine einfachwirkende Pumpe einen Kolbendurchmesser von 12 cm und macht der Kolben in einer Minute 31 Hübe von 30 cm Höhe, so beträgt — da die Grundfläche des Kolbens $\frac{3{,}14 \cdot d \cdot d}{4} = \frac{3{,}14 \cdot 12 \cdot 12}{4}$ ist — die bei einem Hube gehobene Wassermenge $M = \frac{9}{10} \cdot \frac{3{,}14 \cdot 144}{4} \cdot 30 = 3052$ cbcm, und es können also in einer Minute oder in 31 Hüben $31 \cdot 3052 = 94612$ cbcm $= 0{,}094612$ cbm Wasser gefördert werden.

Allgemein ausgedrückt, beträgt die in 1 Minute von einer einfachwirkenden Pumpe geförderte Wassermenge per Minute:

$$M = 0{,}9 \cdot \frac{3{,}14 \cdot d \cdot d}{4} \cdot l \cdot n,$$

wenn d den Pumpendurchmesser, l die Hubhöhe und n die Anzahl der Hübe bezeichnet.

150. Wie berechnet man die zum Betriebe einer Pumpe oder einer Feuerspritze nöthige Kraft?

Bei einer Feuerspritze hat man sich nur klar zu machen, daß man beim Heben des Wassers auf eine bestimmte Höhe vermittelst eines durch Druck bewegten Kolbens das Gewicht einer Wassersäule zu überwinden hat, welche die Grundfläche des Kolbens und die Höhe des ganzen Wasserstrahls hat. Es verhält sich nämlich mit dem hierbei zu überwindenden Widerstande ganz wie bei dem Kapitel 9 Fr. 114 erklärten Bodendruck. Derselbe richtet sich, wie dort gesagt wurde, nur nach der Boden- oder Grundfläche und nach der Höhe des Wasserstandes, und nicht nach der Form und dem Inhalte des einschließenden Behälters.

Darum auch ist die an einem jeden Kolben nöthige wirksame Kraft gleich dem Gewichte einer Wassersäule, welche die Kolbengrundfläche zur Basis und die Höhe des Wasserstrahls, von der Unterfläche des Kolbens an gerechnet, hat. Die so bestimmte Kraft muß wegen des Luftwiderstandes dann noch um $^1/_3$ vergrößert werden.

Die an den Hebelenden wirksamen Triebkräfte brauchen aber dann nach Früherem nur der sovielte Theil der am Kolben nöthigen Kraft zu sein, als der kleinere Hebelarm im größern enthalten ist.

Bei einer gewöhnlichen Druckpumpe berechnet man die zum Heben des Wassers auf eine bestimmte Höhe nöthige Kraft wie eben gesagt worden ist, da ja die Feuerspritze aus zwei Druckpumpen besteht.

Digitized by Google

Hat man aber Wasser aus der Tiefe aufzusaugen, so ist, ohne Reibung 2c., hiezu d. h. zum bloßen Ansaugen eine Kraft nothwendig, die so groß ist wie das Gewicht der angesaugten Wassermenge und zwar einer Wassermenge, welche die Grundfläche des Kolbens und die Höhe vom Unterwasser bis zum Kolben hat.

Wegen der Bewegungshindernisse muß der Werth der so berechneten Kraft wieder um 1/3 vermehrt werden. Die gefundene Kraft müßte an der Kolbenstange wirken. Wirkt die Kraft aber an einem 5fach übersetzten Hebel, d. h. ist der Hebelarm, an welchem die Triebkraft wirkt, 5mal länger als die Entfernung des Aufhängepunktes der Kolbenstange vom Drehpunkt des Hebels, so muß die am Hebelende wirksame Kraft nur den 5. Theil betragen.

In Formeln ausgedrückt, ist, wenn d den Kolbendurchmesser und h die Höhe vom Unterwasser bis zum Kolben bei seinem höchsten Stand (in Metern ausgedrückt) bezeichnet, da 1 cbm Wasser 1000 k wiegt, die an der Kolbenstange erforderliche Kraft zum Aufsaugen:

$$P = \frac{4}{3} \cdot \frac{3{,}14 \cdot d \cdot d}{4} \cdot h \cdot 1000 \text{ k}.$$

Die Kraft, welche nöthig ist, um das Wasser durch eine Druckpumpe (Feuerspritze) auf die Höhe h' über dem Kolben zu fördern, beträgt:

$$P' = \frac{4}{3} \cdot \frac{3{,}14 \cdot d \cdot d}{4} \cdot h' \cdot 1000 \text{ k}.$$

151. Kann vermittelst eines Pumpwerkes Wasser aus beliebiger Tiefe aufgesaugt und weiterbefördert werden?

Bezüglich des Ansaugens des Wassers muß die Frage verneint werden. Es ist nämlich oben gesagt worden, daß der mittlere Luftdruck nur eine 10,336 m hohe Wassersäule in die Höhe zu heben vermag. Das angesaugte Wasser wird aber ja nur durch den Luftdruck in den leergemachten Pumpenraum hineingedrängt. Daraus ergiebt sich, daß in einer Pumpe, welche vollkommen dicht und luftleer wäre, das Wasser nicht höher als 10,336 m gesaugt werden könnte, d. h. daß der höchste Stand des Pumpenkolbens über dem Unterwasser jenes Maß niemals überschreiten darf. Wegen der nie ganz zu überwindenden Undichtheiten und da immer etwas Luft in der Pumpe zurückbleibt

Digitized by Google

und selbst mit dem Wasser eindringt, so beträgt die gewöhnliche Saughöhe höchstens 7—8 m, gewöhnlich sogar nur 5—6 m.

Was die Weiterbeförderung des Wassers ꝛc. durch Druck betrifft, so ist bei gewöhnlichen Pumpen, bei welchen die Geschwindigkeit des in die Höhe gehobenen Wassers nicht groß ist, diese Höhe allerdings nur von der Größe der angewendeten Kraft, so wie von der Widerstandskraft des Röhrenmaterials abhängig. Bei der Feuerspritze ist dies anders. Bei dieser findet der mit sehr bedeutender Geschwindigkeit in die Luft tretende Wasserstrahl durch diese einen Widerstand, und da dieser Widerstand mit der Geschwindigkeit, welche das Wasser bei seinem Austritt aus dem Mundstück hat, wächst, so kann darum die zu erreichende Höhe des Strahls eine bestimmte Grenze nicht überschreiten. Dabei übt aber allerdings die richtige Bearbeitung des Standrohres und namentlich des Mundstückes den größten Einfluß aus und daher kommt es auch, daß der eine Meister bessere Spritzen, d. h. einen höhern Wasserstrahl gebende, als der andere zu liefern im Stande ist.

Die in neuester Zeit zur Anwendung gelangten Dampffeuerspritzen mit Dampfpumpen sind, wie schon bemerkt worden ist, Pumpen wie die beschriebenen, deren Kolben aber durch eine Dampfmaschine, d. h. durch die Stange des Dampfkolbens, in Bewegung gesetzt werden.

Elftes Kapitel.

Von der Dampfkraft und den Dampfmaschinen. Die Heißluft- und Gaskraftmaschinen.

---

152. Welches ist der Grund der Wirksamkeit des Wasserdampfes als bewegender Kraft?

Der Grund ist der, daß der Dampf, welcher viel dünner und also leichter ist, als das Wasser, aus welchem er entstanden, einen viel größeren Raum braucht, als dieses. So ist z. B. der Dampf, der sich beim gewöhnlichen Sieden bildet, nahezu 1700mal

Digitized by Google

leichter als das Wasser, und verlangt darum auch einen eben so vielmal größern Raum.

Man kann auch sagen, daß der Dampf ein sehr elastischer Körper ist und in Folge dessen, so wie aus dem erstgenannten Grunde, sich auszudehnen strebt. Demgemäß muß der Dampf nothwendig einen Druck auf die Wände eines ihn einschließenden Gefäßes, so wie auf jeden ihm entgegenstehenden Körper ausüben.

153. Wie groß ist der vom Dampf ausgeübte Druck?

Dampf, der sich beim freien Sieden in einem offenen Gefäße bildet, übt einen Druck aus, der so groß ist, wie der atmosphärische oder Luftdruck. Das Sieden oder das ungehinderte und vollständige Verwandeln des Wassers in den gasförmigen Zustand d. h. in Dampf hängt, wie leicht zu begreifen ist, von der Größe des auf der Oberfläche des Wassers lastenden Druckes ab. Da in einem offenen Gefäße auf das Wasser der Atmosphärendruck wirkt, so muß darum natürlich der beim Sieden entstandene Dampf auch einen Druck ausüben, der dem Atmosphärendruck gleichkommt oder diesen eigentlich um ein ganz Geringes übertrifft; im andern Falle wäre es sonst nicht möglich, daß der Dampf sich ungehindert bilden und ausströmen d. h. in die Höhe steigen könnte.

Wirkt auf die Oberfläche des Wassers ein stärkerer Druck, als der gewöhnliche Luftdruck, so übt der unter diesen Umständen beim Sieden entstandene Dampf auch einen größern Druck aus, als der in einem offenen Gefäße entwickelte Dampf; denn sonst könnte das Aufsteigen der Dampfblasen oder das Sieden nicht eintreten. Zugleich steigert sich mit dieser Druckzunahme aber auch die Temperatur des Wassers, so wie des sich hierbei bildenden Dampfes. Oder eigentlich müßte man sagen: Wenn auf die Oberfläche des Wassers ein verstärkter Druck ausgeübt wird, so kann bei gewöhnlicher Siedhitze (80° R. oder 100° C.) das Sieden des Wassers noch nicht eintreten. Die Temperatur des Wassers wird darum steigen und bei einer erreichten höhern Temperatur tritt dann erst eine vollständige Dampfbildung ein. Dieser Dampf von höherer Temperatur hat aber auch eine höhere

Digitized by Google

Spannung, weil er einen stärkern Druck, der auf die Oberfläche des Wassers wirkt, zu überwinden hat.

154. Wenn tritt dieser höhere Druck auf die Oberfläche des siedenden Wassers und folglich auch eine höhere Dampfspannung, so wie eine erhöhte Temperatur ein?

Dies ist der Fall, wenn der sich entwickelnde Dampf nicht in dem Maße abströmen kann, als er gebildet wird. Der Dampf sammelt sich dann über dem Wasser an und wird also dichter. In dem Maße der eintretenden Verdichtung wächst dann auch das Ausdehnungsbestreben, die Spannung des Dampfes. Mit der zunehmenden Spannung des Dampfes wächst aber auch die Geschwindigkeit, mit welcher der Dampf ausströmt. Darum wird bald der Moment eintreten, in welchem gerade so viel Dampf ausströmt, als erzeugt wird. Von diesem Augenblicke an werden Spannung, Temperatur und Dichtigkeit des Dampfes gleich groß bleiben. Erst wenn die Ausströmungsöffnung kleiner gemacht würde, fände wieder eine Zunahme statt, wogegen bei vergrößerter Mündungsweite Temperatur, Spannung und Dichtigkeit sinken würden.

155. Nimmt die Spannung des bei höherer Temperatur sich bildenden Dampfes rasch zu?

O ja; während nämlich Dampf von der gewöhnlichen Siedehitze, also von 100° C., einen Druck ausübt, der dem Atmosphärendruck gleich, also — wie man sich ausdrückt — Dampf von einer Atmosphäre ist, drückt

Dampf	von	112°	C.	schon	mit	$1^1/_2$ Atmosphären,
„	„	121	„	„	„ 2	„ ,
„	„	134	„	„	„ 3	„ ,
„	„	144	„	„	„ 4	„ ,
„	„	152	„	„	„ 5	„ ,
„	„	159	„	„	„ 6	„ ,
„	„	165	„	„	„ 7	„ ,
„	„	171	„	„	„ 8	„ ,
„	„	176	„	„	„ 9	„ ,
„	„	180	„	„	„ 10	„ ,
„	„	213	„	„	„ 20	„ .

Digitized by Google

156. Wie giebt man den Druck des Dampfes überhaupt an und wieviel beträgt derselbe bei verschiedenen Temperaturen?

Es verhält sich hier, wie beim Luftdruck. Man bestimmt nämlich den Druck, welcher von dem Dampf auf irgend eine Fläche, z. B. einen Quadratzoll, einen Quadratfuß, einen Quadratmeter ꝛc., ausgeübt wird.

Da nun nach Kap. 10 Fr. 134 der gewöhnliche oder mittlere, durch das Barometer gemessene Atmosphärendruck auf 1 □m = 10336 k beträgt, so drückt also

Dampf von 100° C. d. i. Dampf von 1 Atmosph. mit 10336 k,
„ „ 112 „ „ „ „ $1\frac{1}{2}$ „ „ $1\frac{1}{2}$.10336 „,
„ „ 121 „ „ „ „ 2 „ „ 2.10336 „,
„ „ 134 „ „ „ „ 3 „ „ 3.10336 „,
„ „ 144 „ „ „ „ 4 „ „ 4.10336 „,
„ „ 152 „ „ „ „ 5 „ „ 5.10336 „,
„ „ 159 „ „ „ „ 6 „ „ 6.10336 „.

Auf einen □cm ist der mittlere Atmosphärendruck = 1,0336 d. i. nahe = 1 k; somit drückt

Dampf von 1 Atmosph. auf 1 □cm mit 1 k,
„ „ $1\frac{1}{2}$ „ „ „ „ „ $1\frac{1}{2}$ „,
„ „ 2 „ „ „ „ „ 2 „,
„ „ 3 „ „ „ „ „ 3 „,
u. s. w.

157. Was ist sonst noch hinsichtlich der Eigenschaften des Dampfes bemerkenswerth?

Es ist dies der Umstand, daß mit der Temperatur des Speisewassers (so nennt man das zu verdampfende Wasser), also auch mit der Temperatur des Dampfes und folglich mit der Spannung desselben auch dessen Dichtigkeit zunimmt. Die Dichtigkeit des Dampfes wächst zwar nicht gerade im gleichen Verhältniß, wie die Spannung desselben, sondern etwas weniger, wie die folgende Zusammenstellung zeigt:

Es ist nämlich:

Digitized by Google

Dampf von 1 Atmosph. oder von 100° C. 1650mal
„ „ 2 „ „ „ 121 „ 860 „
„ „ 3 „ „ „ 134 „ 587 „
„ „ 4 „ „ „ 144 „ 448 „
„ „ 5 „ „ „ 152 „ 364 „
„ „ 6 „ „ „ 159 „ 306 „
leichter, als Wasser.

158. Wie verhält es sich aber mit der Spannkraft einer abgeschlossenen und mit Wasser nicht in Berührung stehenden Dampfmenge bei einer Raumveränderung derselben?

Nach dem sogenannten Mariotte'schen Gesetze (Fr. 135) nimmt die Spannung des abgeschlossenen Dampfes in dem gleichen Maße ab, als der Raum zunimmt, d. h. läßt man eine abgesperrte Dampfmenge in dem 2fachen, 3fachen ꝛc. ꝛc. Raum sich ausdehnen, so übt der Dampf nachher einen 2mal, 3mal ꝛc. ꝛc. geringeren Druck aus, als ursprünglich der Fall war.

Umgekehrt würde der Dampf, wie ein anderes Gas, den doppelten und dreifachen Druck ausüben, wenn er auf einen 2mal oder 3mal kleineren Raum zusammengepreßt würde. Nur ist hinsichtlich des Wasserdampfes zu bemerken, daß wenn derselbe weiter verdichtet werden wollte, als den oben genannten Temperaturen oder dem sogenannten Sättigungsgrad zukommt, alsdann ein Theil des Dampfes zu Wasser verwandelt d. h. condensirt wird.

159. Gelangen die genannten Fälle bei den Dampfmaschinen zur praktischen Anwendung?

Ja, aber nur der erste Fall, nämlich die Ausdehnung (Expansion) des Dampfes, und zwar bei den sogenannten Expansionsmaschinen (vergl. unten Fr. 173).

160. Kann die Spannung des Dampfes auch noch auf andere Art geändert und gesteigert werden?

Ja, wenn nämlich abgeschlossener Dampf für sich allein erhitzt oder abgekühlt wird. Im erstern Fall wächst mit der Erhitzung auch das Bestreben, sich auszudehnen, und folglich auch der Druck

Digitized by Google

des Dampfes auf die Wände des einschließenden Behälters. Bei erfolgter Abkühlung des Dampfes nimmt dagegen dessen Spannkraft ab.

161. Steht die Menge des aufgewendeten Brennmaterials mit der erzeugten Dampfmenge in einem bestimmten Verhältniß?

Natürlich; denn je mehr man z. B. Kohlen verbrennt, um Wasser von bestimmter Temperatur zum Verdampfen zu bringen, desto mehr Dampf muß man auch erhalten.

Berechnung und Erfahrung weisen nun nach, daß bei der gewöhnlichen Temperatur des Speisewassers und bei gewöhnlichen Dampfkesseln

1 k (1 Pfd.)	Steinkohlen	5 bis 7 k	(Pfd.)	Dampf
1 „	Coaks	6 „		„
1 „	gewöhnl. Holzkohlen	6 „		„
1 „	trockenes Holz	2,5 bis 2,7 „		„

giebt.

Bei verbesserter Heizvorrichtung und sorgfältiger Ueberwachung des Feuers erzeugt man mit 1 k guter Steinkohle auch bis $8\frac{1}{2}$ k und noch mehr Dampf.

162. Richtet sich der Brennmaterialienverbrauch nicht auch nach der Temperatur und der Spannung des zu erzeugenden Dampfes?

Im Allgemeinen nicht. Dies kommt daher, daß sich Dampf von höherer Temperatur und Spannung unter anderen Bedingungen bildet, als der gewöhnliche, atmosphärische Dampf. Auch hat Dampf von hoher Temperatur weniger gebundene Wärme.

163. Wie ist das Verhältniß zwischen dem Kohlenaufwand und der erzeugten mechanischen Leistung?

Es beträgt die in einer Stunde für jede Pferdekraft des sogenannten Nutzeffectes (siehe oben Kap. 2, Fr. 17) verbrauchte Menge von Steinkohlen:

bei kleineren Dampfmaschinen	5 bis 6 k
bei größeren Dampfmaschinen mit Condensation und Expansion	$1\frac{1}{2}$ „ 2 „

Digitized by Google

164. In welcher Weise wirkt der Dampf bei den gewöhnlichen Dampfmaschinen?

Diese Wirkung ist höchst einfach. In einem hohlen, an beiden Enden geschlossenen Cylinder befindet sich ein an den Wänden dicht anliegender beweglicher Kolben, von welchem aus eine Stange durch den einen Cylinderdeckel geht und dort gut abgedichtet ist. Abwechselnd wird nun der Dampf von der einen und dann von der andern Seite in den Cylinder geleitet. Dadurch wird der Kolben im Cylinder hin- und hergeschoben. Die Kolbenstange bewegt dann gewöhnlich eine damit verbundene Kurbel, durch welche endlich eine Welle in drehende Bewegung versetzt wird.

Der Dampf, welcher seine Wirkung vollbracht hat, strömt entweder in die Luft, oder, wie bei den sogenannten Condensationsmaschinen, in einen Behälter, wo er vermittelst zugeführten kalten Wassers ebenfalls in solches verwandelt (condensirt) wird.

165. Welches sind die wesentlichen Bestandtheile einer Dampfmaschine?

Es ist dies: 1. Der Dampfkessel, in welchem der Dampf erzeugt wird, 2. der Cylinder mit dem Kolben, welch letzterer den vom Dampf ausgeübten Druck aufnimmt, und 3. der Mechanismus, vermittelst dessen die Bewegung des Dampfkolbens auf eine Welle oder auch sonst übertragen wird.

In zweiter Linie erscheinen dann als nothwendige Bestandtheile: Die Manometer oder Druckmesser, Wasserstandszeiger und Wasserstandsregulatoren, Sicherheitsventile, ferner die Steuervorrichtung und der Bewegungsregulator, so wie endlich noch bei manchen Maschinen die Vorrichtungen behufs der Condensation und Expansion des Dampfes. Dazu kommen dann noch Pumpen zur Herbeischaffung des Speisewassers.

166. Wer ist der Erfinder der Dampfmaschine?

Die ersten, praktisch verwendbaren Vorschläge rühren von Dionys Papin, Professor in Marburg, einem geborenen Fran-

Digitized by Google

zosen, her. Derselbe brachte in einem eisernen Cylinder A Fig. 131 Wasser zum Verdampfen. Durch den Dampf wurde der Kolben B in die Höhe gedrückt. In dem Augenblicke, in welchem der Kolben am Ende des Cylinders angekommen war, wurde der letztere durch kaltes Wasser von außen abgekühlt. Dadurch gerann der Dampf unter dem Kolben und es trat darum dort ein verdünnter, nahezu leerer Raum ein. In Folge dessen wurde der Kolben dann durch den atmosphärischen Druck, welcher auf die obere Seite desselben wirkte, zurückgetrieben. Bei erneuter Dampfbildung begann wieder ein Emporsteigen des Kolbens.

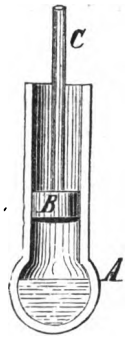


Fig. 131.

Die hierbei zu Grunde liegende Idee wurde dann von dem Engländer Newcomen bei der von diesem im Jahre 1705 erbauten sogenannten atmosphärischen Dampfmaschine, welche in Fig. 132 S. 154 dargestellt ist, praktisch ausgeführt.

Diese Newcomen'sche Maschine gilt als die erste Kolbendampfmaschine.

Es ist m m der Dampfkessel und u der Dampfcylinder mit dem Kolben c. Beim Oeffnen des Hahns a strömt Dampf in den Cylinder und drückt den Kolben aufwärts. Ist der Kolben oben angekommen, so wird a geschlossen und ein anderer Hahn b geöffnet, so daß kaltes Wasser, das sich in dem Behälter n befindet, unten durch eine sogenannte Brause in den Cylinder einspritzt. Dadurch wird, wie im Papin'schen Cylinder, die Condensation des Dampfes, so wie die Herstellung eines luftverdünnten Raumes bewirkt. Wie dort erhält dann die atmosphärische Luft, welche in dem oben offenen Cylinder einwirken kann, das Uebergewicht und drückt den Kolben wieder zurück. Von dem Kolben wird die Bewegung mittelst der Kolbenstange, welche mit dem Balancier w w verbunden ist, auf diesen übertragen. Die hin- und herschwingende Bewegung des Balanciers wird auf der andern

Digitized by Google

Seite des letztern dann auf eine beliebige Arbeitsmaschine, nach der Figur auf eine Pumpe f, übertragen.

Eine solche Dampfmaschine, bei welcher der Dampf nur auf eine Seite des Kolbens wirkt, nennt man eine einfachwirkende

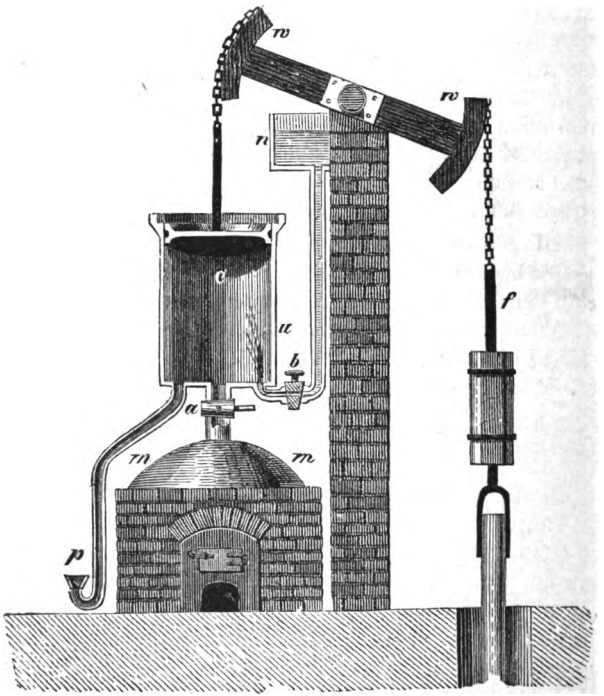


Fig. 132.

167. Wer ist der Erfinder der doppeltwirkenden Dampfmaschine?

Der Erfinder der doppeltwirkenden Maschinen und überhaupt der Schöpfer der heutigen Dampfmaschinensysteme ist Jakob

Digitized by Google

Watt, welcher in England von 1736 bis 1819 lebte. Derselbe führte zuerst die abwechselnde Einwirkung des Dampfes auf die Vorder- und Rückseite des Kolbens ein und erfand auch die Selbststeuerung der Maschine, d. h. die abwechselnde Einführung des Dampfes durch die Maschine selbst, so wie die

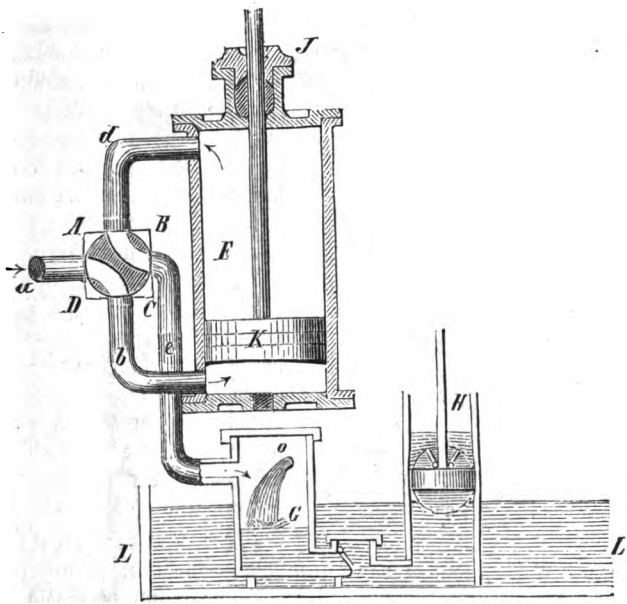


Fig. 133.

Selbstregulirung der Bewegung und eine zweckmäßige Condensation.

168. In welcher Weise wurden diese Verbesserungen der Dampfmaschine ausgeführt?

Die doppelte Ein- und Ausführung des Dampfes, so wie die verbesserte Condensationsvorrichtung zeigen Fig. 133 und 134. Es ist dort das Dampfzuleitungsrohr a mit einem doppelt durch-

Digitized by Google

bohrten, dem sogenannten Vierwege-Hahn ABCD verbunden. Dieser selber steht wieder durch die Röhren d und b, welche an das obere Ende des beiderseits geschlossenen Dampfcylinders F führen, mit diesem in Verbindung. Hat der Hahn die Stellung wie in Fig. 133, so geht der zugeleitete Dampf durch die eine Durchbohrung des Hahns und die Röhre b unten in den Cylinder und drückt den Kolben aufwärts. Der Dampf, welcher über dem Kolben war, also schon gewirkt hat (der Abdampf, Retourdampf), geht dann durch die Röhren d und e fort und zwar in den hier besonders angebrachten Condensator G. Ist der Kolben oben angekommen, so nimmt der Hahn, und zwar, wie wir weiter unten sehen werden, durch die eigne Wirkung der Maschine, d. h. durch Selbststeuerung, die Stellung Fig. 134. Der frisch zutretende Dampf gelangt nun durch die Röhre d in den obern Theil des Cylinders und drückt den Kolben abwärts; der unter dem Kolben befindliche Dampf strömt durch b und e ab.

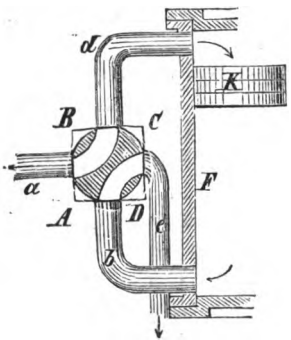


Fig. 134.

Der Condensator G ist ein Gefäß, welches von kaltem Wasser umgeben ist, und in welches ebenfalls Wasser durch eine Oeffnung o einspritzt, wodurch die Verdichtung des Dampfes und die Herstellung eines nahezu leeren Raumes auf derjenigen Seite des Kolbens bewirkt wird, von welcher der Dampf abgeht.

169. Wird die Condensation des Dampfes auch bei doppeltwirkenden Maschinen angewendet, und welchen Vortheil gewährt dieselbe?

Ja, auch bei doppeltwirkenden, und zwar hauptsächlich bei den sogenannten Niederdruck-Dampfmaschinen d. i. solchen,

Digitized by Google

bei welchen der Dampf nur einen Druck von wenig über eine Atmosphäre auszuüben im Stande ist, wird die Condensation angewendet. Der Vortheil, welcher daraus erwächst, besteht darin, daß auf der Gegenseite des Kolbens alsdann ein nur ganz geringer Druck (gewöhnlich kaum $^1/_{10}$ Atmosphäre) herrscht, und darum der frische Dampf fast ohne Gegendruck arbeiten kann. Auch wird durch die Condensation die von dem abströmenden Dampfe mitgeführte Wärme ausgenutzt, indem das hierbei erhaltene warme Wasser zum Speisen des Kessels benutzt wird.

Zu letzterem Zwecke dient die Pumpe H Fig. 133.

170. Giebt es auch noch andere Steuerungsvorrichtungen, als die mittelst des Vierwegehahns?

Ja wohl, und zwar wird heutzutage die sogenannte Schiebersteuerung vorzugsweise angewendet. Bei derselben wird der Dampfschieber S, Fig. 135 S. 158, welcher ein sogenannter Muschelschieber ist und der mit seiner glattgeschliffenen Fläche bei a a dicht anliegt, so hin- und hergeschoben, daß bald der obere Canal d, bald der untere Canal f offen ist und alsdann der bei b in die Dampfkammer oder in den sogenannten Schieberkasten strömende Dampf oben oder unten in den Cylinder A eintreten kann.

Bei der Schieberstellung I. kann der Dampf durch den Canal f unter den Kolben treten. Wird in Folge dessen der Kolben B in die Höhe gedrückt, so wird der über dem Kolben befindliche sogenannte Abdampf durch d verdrängt, gelangt in die Höhlung oder Muschel des Schiebers, und strömt von da durch eine dort einmündende Abflußröhre i ab.

Bei der Stellung II. gelangt der frische Dampf durch d über den Kolben, während der abgehende Dampf durch f und i entweicht.

Watt wendete ursprünglich den Röhrenschieber Fig. 136 an. Derselbe hat in seiner ganzen Länge eine Höhlung oder Röhre a a. Bei A tritt der Dampf in die Dampfkammer B und bei der Stellung I. durch den Canal g über den Kolben in den Cylinder C. Zugleich entweicht der Abdampf durch h und l.

Digitized by Google

Ist der Kolben unten angekommen, so erhält der Schieber die Stellung II. Alsdann ist für den zuströmenden Dampf der untere Canal h frei, während der Dampf über dem Kolben, welcher schon gewirkt hat, durch g und die Röhre a a abgeht.

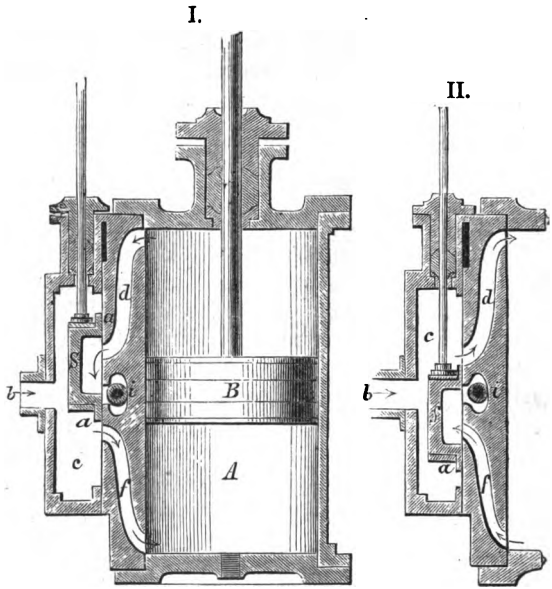


Fig. 135.

Die neueste Art der Dampfsteuerung d. h. der Zu- und Abführung des Dampfes in und aus dem Cylinder geschieht durch sogenannte Kreisschieber und Ventile. Jene sind entweder oscillirende d. h. hin- und hergehende oder es sind continuirlich rotirende (ununterbrochen sich drehende) Schieber oder Hähne. Dieselben wurden vorzugsweise durch die sogenannten Corlißmaschinen (von dem Nordamerikaner G. H. Corliß so benannt) bekannt.

Digitized by Google

Fig. 137 S. 160 stellt einen oscillirenden Drehschieber oder Hahn im Querschnitt dar. Derselbe ist oben und unten geschlossen. Die ausgehöhlten Räume a a stehen immer mit dem Canal b c und dem Dampfzuflußrohr d in Verbindung; der Raum e dagegen ist mit dem Canal f verbunden, durch welchen der Abdampf ausströmt. Die beiden Canäle g und h führen an die Cylinderenden und es wird je nach der Stellung des Hahns der frische Dampf entweder von b durch g oder von c durch h in den Cylinder geleitet.

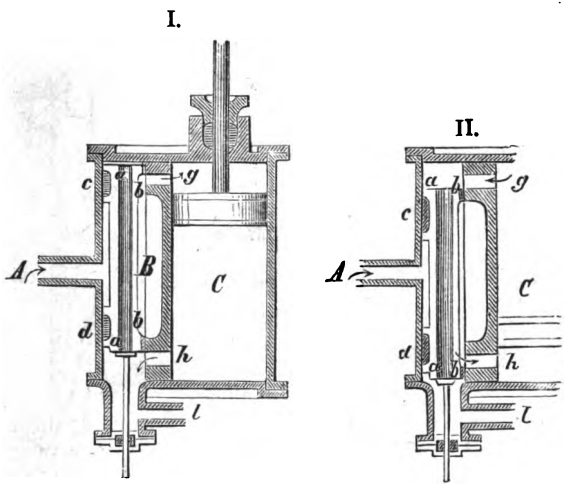


Fig. 136.

Fig. 138 zeigt einen continuirlich sich drehenden Hahn. Dieser hat zwei sich gegenüber angebrachte Durchbohrungen a und b und macht gerade so viele Umdrehungen wie die Kurbelwelle. Der frische Dampf tritt bei c ein und gelangt durch die Durchbohrung a und den Rohransatz d nach dem einen Cylinderende, während der Abdampf bei f durch die Durchbohrung b und bei g ausströmt.

Digitized by Google

Nach einer halben Umdrehung steht die Durchbohrung a mit der Oeffnung f, und der Canal b mit d in Verbindung; alsdann muß der frische Dampf durch c, a und f nach dem

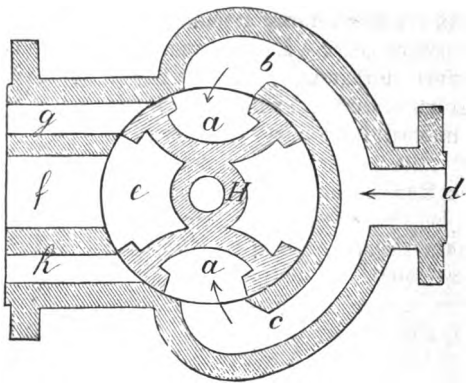


Fig. 137.

andern Ende des Cylinders gelangen, während jetzt der verbrauchte Dampf durch d, b und g abgeht.

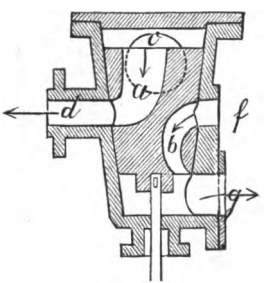


Fig. 138.

Es ist zu bemerken, daß bei den sogenannten Corliß- und ähnlichen Maschinen vier Drehschieber der obengenannten Art angebracht sind und zwar bei einem liegenden Dampfcylinder oben je an einem Ende ein Schieber für die Dampfzuführung und unten an jedem Ende ein Schieber für die Ableitung des Dampfes.

Bei der Ventilsteuerung sind es Ventile, welche einige Aehnlichkeit mit den Pumpenventilen haben, die den Dampfzu- und Abfluß vermitteln. Auch dienen in der Regel hier zwei Ventile für die Zu- und zwei für die Abführung des Dampfes.

Digitized by Google

171. Wie sind die Manometer oder Druckmesser beschaffen?

Das einfachste Manometer ist, wie Fig. 139 zeigt, eingerichtet. Eine gläserne oder auch eiserne heberartig gebogene Röhre ist am Ende C offen und bei A mit dem Dampfkessel verbunden. In der Röhre befindet sich Quecksilber, welches durch den bei A einwirkenden Dampf in dem Röhrenschenkel links in die Höhe gedrückt wird. Um bei Anwendung eiserner Manometerröhren den Stand des Quecksilbers ablesen zu können, befindet sich auf der Oberfläche des Quecksilbers ein sogenannter Schwimmer, von dem aus ein dünner Faden über eine Rolle R geht, der an seinem Ende einen Zeiger Z trägt.

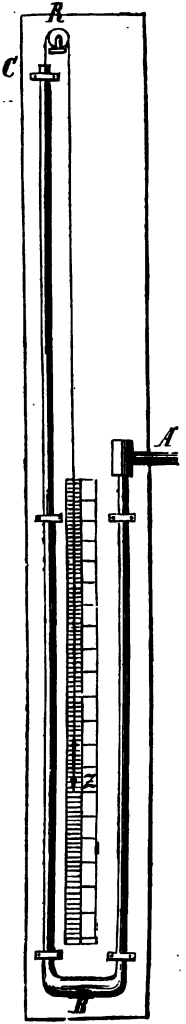


Fig. 139.

Aus dem Unterschiede des Quecksilberstandes in beiden Röhrenschenkeln ergiebt sich der Druck des Dampfes.

Da nämlich der mittlere Luftdruck das Quecksilber in einem Barometer an der Meeresfläche oder in geringer Erhebung darüber nach Kap. 10 Fr. 136 auf 28 pariser Zoll oder 76 cm zu heben vermag, so würde, wenn in dem genannten Manometer das Quecksilber auch auf 76 cm gehoben würde, der Dampf eine, um den Atmosphärendruck stärkere Pressung ausüben, als die gewöhnliche Luft. Die eigentliche Dampfkraft oder Dampfspannung betrüge dann 2 Atmosphären.

Hieraus ergiebt sich, daß bei einem Dampfdruck von 3 Atmosphären der längere Schenkel des Manometers über 2.76 =

Digitized by Google

152 cm und bei 6 Atmosphären über $5.76 = 380$ cm lang sein müßte.

Da man nun beim Betriebe Dampf bis zu 6 Atmosphären und noch mehr Spannung anwendet, so ist klar, daß und zwar namentlich bei Locomotiven und Dampfschiffen die beschriebene Art von Manometer, ihrer Größe wegen, nicht anwendbar ist. Man ersann darum für diese und auch für gewöhnliche Maschinen andere Constructionen.

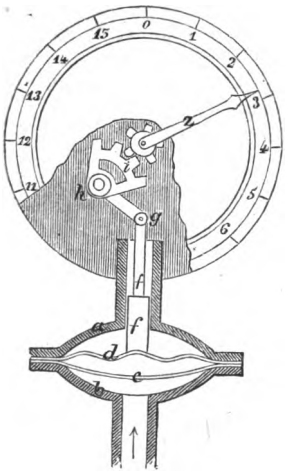


Fig. 140.

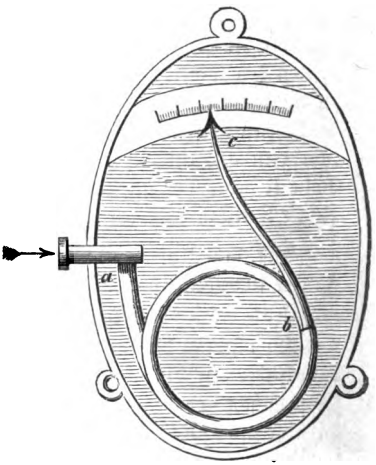


Fig. 141.

Eine in der neuesten Zeit hauptsächlich angewendete Art von Manometer, welche namentlich für hochgespannten Dampf oder sogenannte Hochdruckmaschinen geeignet ist, zeigt Fig. 140.

Bei demselben tritt der aus dem Kessel zuströmende Dampf in eine, aus zwei Schalen a und b gebildete Büchse. Zwischen den beiden Schalen ist die Cautschucscheibe c und darüber die gewellte Stahlscheibe d eingeklemmt. Die Cautschucscheibe soll nur die unmittelbare Berührung des feuchten Dampfes mit der Stahlscheibe verhindern. Das Manometer wirkt nun so, daß

Digitized by Google

der vom Dampf auf die Scheiben c und d ausgeübte Druck durch eine Stange f auf den Winkelhebel g h i übertragen wird. Bei i bildet der eine Hebelarm einen Zahnbogen, der in ein Getriebe eingreift, mit welchem ein Zeiger verbunden ist, welcher auf einem Zifferblatte die Größe der Dampfspannung angiebt.

Eine noch andere Art Manometer stellt Fig. 141 dar. Dasselbe besteht, wie das sogenannte Aneroidbarometer, aus einer gewundenen Röhre a b, welche an ihrem geschlossenen Ende einen Zeiger c trägt. Dringt nun der aus dem Kessel kommende Dampf bei a in die Röhre, so wird diese vermöge der von dem Dampf ausgeübten Expansivkraft um so mehr ausgedehnt und auseinandergerollt, je stärker die Dampfspannung ist. Bei abnehmendem Druck dagegen wickelt sich die Röhre enger zusammen. Dieses wird dann durch den Zeiger c und damit auch die Dampfspannung angegeben.

172. Wozu dienen die Sicherheitsventile und wie sind solche eingerichtet?

Jeder Dampfkessel ist für einen gewissen größten Druck des Dampfes construirt. Ueberschreitet die Dampfspannung diese Grenze, so ist Gefahr vorhanden, daß eine Explosion d. h. eine Zertrümmerung des Kessels eintritt.

Die Sicherheitsventile haben nun den Zweck, daß, wenn jene äußerste erlaubte Grenze der Spannung eingetreten ist, sie — die Ventile — dem Dampf den Ausfluß aus dem Kessel gestatten.

Ein Sicherheitsventil gewöhnlicher Art zeigt Fig. 142. Dasselbe besteht aus einer glattgeschliffenen Platte D, welche auf einer schmalen Ringfläche des röhrenförmigen Aufsatzes H J J, welcher an dem Kessel angebracht ist, aufliegt. An einem langen Hebelarme A B, der sich um A drehen kann, hängt am Ende B ein Gewicht G, wodurch das Ventil angedrückt wird. Dieses Gewicht ist nach der Dampfspannung, so wie nach der Größe der Ventilfläche und des Hebels genau berechnet.

Außer den beschriebenen Ventilen giebt es auch solche, bei

Digitized by Google

welchen der Hebel durch eine kräftige Stahlfeder niedergezogen wird; z. B. bei Locomotiven.

Auch giebt es Gewichtsventile, bei welchen das Gewicht, anstatt an einem Hebel zu wirken, unmittelbar auf der Ventilplatte aufliegt. Es sind dies die Ventile mit directer Belastung.

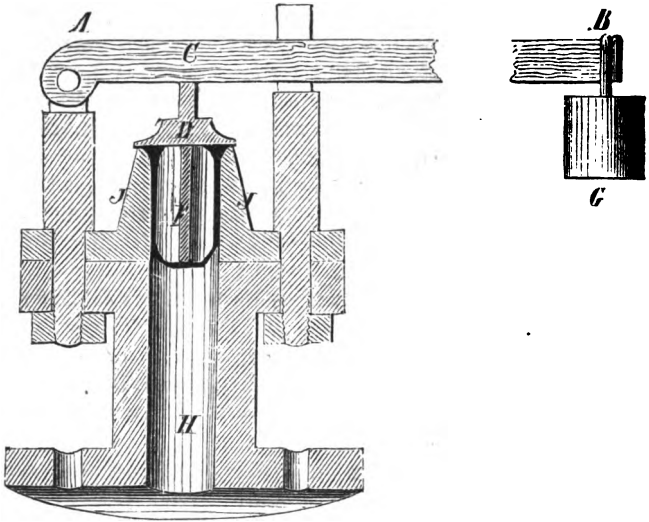


Fig. 142.

173. Welche Arten oder Systeme von Dampfmaschinen giebt es?

Zunächst wären zu unterscheiden: einfach- und doppeltwirkende Maschinen. Diese sind bereits in Fr. 166—168 erklärt worden.

Sodann unterscheidet man noch, wie schon angeführt wurde, nach der Größe der Dampfspannung: Nieder-, Mittel- und Hochdruckmaschinen. Bei ersteren ist die Dampfspannung nicht über $1\frac{1}{2}$, bei letzteren 5—6 Atmosphären; neuere Maschinen

Digitized by Google

arbeiten zum Theil sogar mit Dampf bis zu 10 Atmosphären Spannung. Ferner giebt es Maschinen mit und ohne Condensation und solche mit und ohne Expansion.

Was Condensation und Condensationsmaschinen sind, ist oben Fr. 168—169 schon gesagt worden.

Bei den Expansionsmaschinen ist die Einrichtung getroffen, daß nicht fortwährend frischer Dampf in den Cylinder strömt, sondern nur während eines Theiles des Kolbenhubes. Es tritt nämlich nur Dampf ein, bis der Kolben 1/3 oder 1/4 ꝛc. der Cylinderlänge durchlaufen hat; dann wird der Dampf (oder eigentlich der Cylinder) abgeschlossen oder abgesperrt. Wegen seines großen Ausdehnungsbestrebens drückt der Dampf nun auch fortwährend, aber freilich mit abnehmender Kraft (siehe Fr. 158) auf den Kolben und schiebt denselben bis zum andern Ende des Cylinders. Natürlich kann die Expansion nur bei einem stark gespannten Dampf angewendet werden.

Die Expansionsvorrichtung besteht in einem besonderen Ventil oder Schieber, dem Expansionsschieber, welcher den Eintritt des Dampfes in den Cylinder nur während eines Bruchtheils des Kolbenhubes gestattet. Bei der sogenannten Woolf'schen Expansion ist dagegen die Einrichtung getroffen, daß aus einem kleinen Cylinder, der fortwährend frischen Dampf erhält, der Abdampf in einen größeren Cylinder strömt und dort durch seine Expansion noch einmal auf einen Kolben wirkt.

Der Vortheil der Expansion besteht darin, daß die Kraft des Dampfes möglichst ausgenutzt wird, was nicht der Fall wäre, wenn Dampf von hoher Spannung in die Luft abströmt.

Hinsichtlich der Arten von Dampfmaschinen unterscheidet man noch stehende und liegende Maschinen, jenachdem der Cylinder eine verticale oder horizontale Lage hat; endlich giebt es noch stationäre (feststehende) und locomotive und locomobile (ortsverändernde) Dampfmaschinen.

Die Locomotive ist eine Maschine, welche selbst ihre eigene Bewegung oder Ortsveränderung bewirkt. Die Locomobile dagegen ist nur eine, auf einem durch irgend eine Zugkraft zu bewegenden Wagen befindliche Dampfmaschine.

Digitized by Google

Eine neuere Dampfmaschinenart bilden die sogenannten Rotationsmaschinen, welche eine besondere Verwendung aber noch nicht gefunden haben. Bei denselben wirkt der Dampf auf einen, in einem hohlen Gehäuse rotirenden (sich drehenden) Kolben. Die Maschinen selbst sind den Rotationspumpen (vergl. Fr. 142) ganz ähnlich.

174. Wie ist eine Niederdruckmaschine mit ihrem gesammten Zubehör beschaffen?

Dies zeigt Fig. 143, welche die Darstellung sämmtlicher Bestandtheile einer Dampfmaschine enthält.

Es ist A der in X geheizte Dampfkessel, C ist der Dampfcylinder mit dem Kolben M, D ist der Condensator mit der Pumpe E, welche man die Luftpumpe nennt, und FF ist der Balancier. Alle diese Theile sind oben bereits beschrieben worden.

Der Dampf tritt durch das Rohr L aus dem Kessel in die Dampfkammer nn und nach der jetzigen Stellung des Röhrenschiebers mm, wie die Pfeile angeben, über den Kolben M und drückt denselben abwärts. Der unter dem Kolben befindliche Dampf aber geht durch den Canal 2 ab und zwar in den Condensator D. Bei einem Schieberwechsel tritt der Dampf unter den Kolben und schiebt denselben nach der andern Seite. Die hin- und hergehende Bewegung des Kolbens wird durch die Stange S, welche an dem in seinen Ecken verschiebbaren Parallelogramm ONN'O angebracht ist, dem Balancier FF mitgetheilt. Von dem andern Ende W des Balanciers geht die Treibstange WT an eine Kurbel GT und setzt dadurch das Schwungrad HH in Umdrehung. Von der Welle des letztern wird dann die Bewegung auf irgend eine Arbeitsmaschine (Mühlwerk, Spinnerei ꝛc. ꝛc.) übertragen. Das Parallelogramm ON'O vermittelt, daß die Bewegung der Kolbenstange S eine stets geradlinige, verticale bleibt.

Die Verstellung des Dampfschiebers mm wird durch Selbststeuerung der Maschine bewirkt. Zu dem Ende ist mit der Schwungradwelle eine excentrische (einseitig vorragende) Scheibe

Digitized by Google

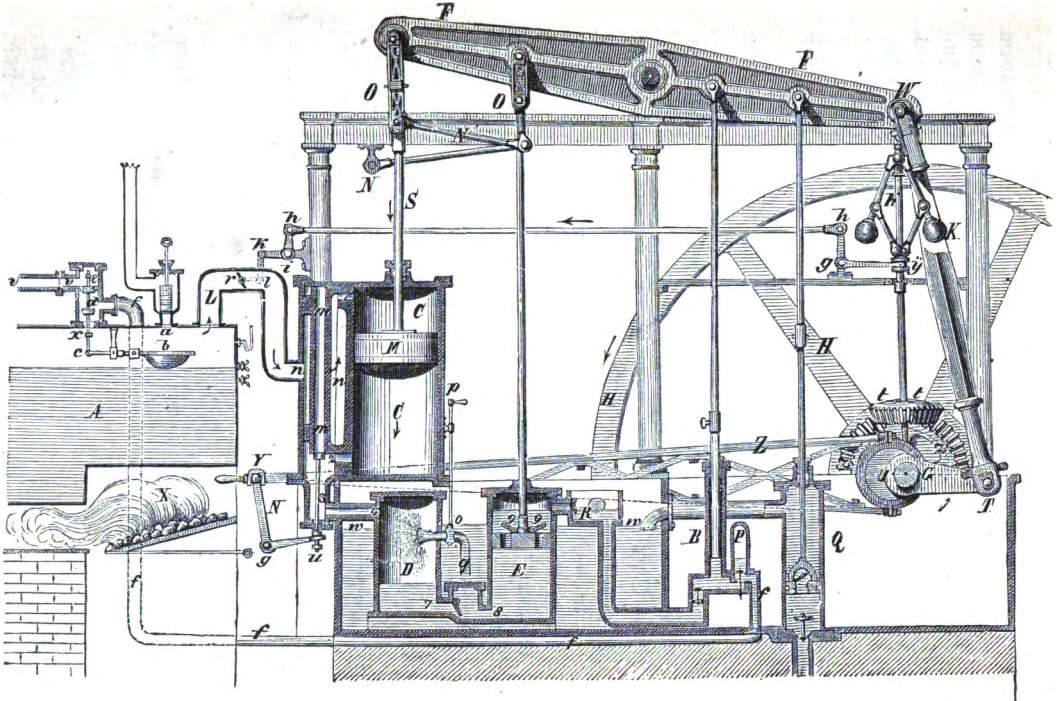


Fig. 148.

Digitized by Google

U fest verbunden. Dieselbe wird von einem sich frei drehenden Halsringe umschlossen, mit welchem das Gestänge Z Y verbunden ist. Kommt nun bei der gegenwärtigen, durch den Pfeil angegebenen Drehung des Schwungrades die größere Hälfte des Excenters allmählich rechts von der Axe G zu liegen, so wird das Gestänge Z Y ebenfalls nach rechts bewegt. Dann aber geht der um g drehbare Winkelhebel u g Y mit seinem Punkte u abwärts, eine Stange u 3 zieht den Schieber m m ebenfalls abwärts und giebt ihm die Stellung Fig. 136 II., S. 159.

Bezüglich der übrigen Bestandtheile, die mehr oder weniger auch bei anderen Dampfmaschinen vorkommen, ist zu bemerken: Unmittelbar an der Wasserlinie des Kessels sieht man über und unter derselben zwei Hähne. Beim richtigen Wasserstande soll beim Oeffnen der obere Hahn Dampf und der untere Wasser geben.

Ueber den Hähnen sieht man das Manometer. a ist das Sicherheitsventil; c b ist ein sogenannter Schwimmer, welcher vermittelt, daß im Kessel immer der richtige Wasserstand ist. Derselbe ist nahe an seiner Mitte um einen festen Punkt drehbar. Bei zu hohem Wasserstande geht b aufwärts und c abwärts. Dadurch wird das Ventil x d e abwärtsgezogen und das durch die Röhre f f zuströmende Speisewasser kann nicht in den Kessel gelangen. Nimmt aber bei niederem Wasserstande der Schwimmer die gegentheilige Lage an, so ist das Ventil offen und das Wasser kann zutreten.

Der Zufluß des Speisewassers wird durch das Spiel der vom Balancier aus bewegten Pumpen E und B vermittelt, wie die Figur zeigt. Es ist noch hinzuzufügen, daß der überschüssige Theil des vorgewärmten (Condensations-) Wassers bei R abfließt; P ist der Windkessel der eigentlichen Speisepumpe B.

Q ist die Kaltwasserpumpe, welche das zum Condensiren nöthige Wasser liefert.

Als sehr wichtige Vorrichtung ist noch der sogenannte Regulator K zu erklären. Derselbe trägt das Winkelrad t t und empfängt von der Schwungradwelle und zwar hier vermittelst eines, dem ersten gleichen Zahnrades eine rasche drehende

Digitized by Google

Bewegung. Mit dem obern Ende der Regulatorstange sind die Arme oder Seiten eines verschiebbaren Vierecks in Gelenken verbunden; die unteren zwei Arme desselben gehen an eine längs der Stange verschiebbare Hülse, wo solche ebenfalls um Gelenke drehbar sind. Die oberen verlängerten Arme tragen an ihren Enden schwere Kugeln K. Gelangt nun die Maschine in eine beschleunigte Bewegung und wird diese dem Regulator mitgetheilt, so fliegen die Kugeln K vermöge der Centrifugalkraft (vergl. Kap. 3, Fr. 40) aus einander. Dabei bewegt sich der Punkt y aufwärts und der Winkelhebel hgy nimmt eine solche Stellung ein, daß die Stange hh sich nach links bewegt. Vermittelst eines am linken Ende der Stange hh angebrachten zweiten Winkelhebels hik wird alsdann das Drosselventil r so verstellt, daß der Dampfzufluß vermindert wird. Umgekehrt werden bei einer durch irgend eine Störung verursachten verlangsamten Bewegung die Kugeln K sich senken, die Stange hh bewegt sich dann nach rechts, und die Klappe r erhält eine solche Lage, daß eine größere Dampfmenge in den Cylinder gelangen kann.

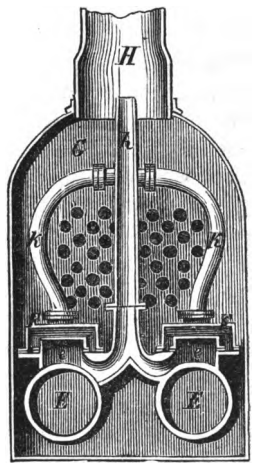


Fig. 145.

175. Wie ist eine Hochdruckmaschine, speciell die Locomotive, eingerichtet?

Die Hochdruckmaschinen sind in der Regel viel einfacher, als die Niederdruckmaschinen, da sie gewöhnlich ohne Condensation arbeiten. Es fallen nämlich dann von den eben genannten drei Pumpen zwei mit dem zugehörigen Mechanismus weg, und es ist nur die Speisepumpe nöthig, um den Kessel mit Wasser zu versehen.

Digitized by Google

Fig. 144.

Digitized by Google

Ein Beispiel einer Hochdruckdampfmaschine zeigt die Locomotive Fig. 144 und 145.

Es ist hier A (rechts in der Figur) der Feuerraum; C und D sind die oberen, zum Theil erhabenen, dampfhaltenden Theile des Kessels. Dieser ist ein sogenannter Röhrenkessel. In demselben ist nämlich, wie der Querschnitt Fig. 145 zeigt, eine große Zahl Röhren angebracht, durch welche die Verbrennungsgase und der Rauch hindurch ziehen. Dadurch und weil auch der wasserhaltende Theil BB des Kessels den Feuerraum umgiebt, erreicht man eine große Heizfläche und in Folge dessen eine reichliche Dampfbildung. CC ist das Dampfzuleitungsrohr, welches sich in zwei Arme kk theilt, welche nach den auf beiden Seiten der Locomotive befindlichen Dampfcylindern EE gehen und diesen Dampf zuführen.

Aus der Kammer FF gelangt der Dampf je nach der Stellung des Schiebers g bald vor, bald hinter den Kolben K. Nach der jetzigen Schieberstellung tritt der Dampf auf der rechten Seite des Kolbens in den Cylinder. Die Bewegung des Kolbens wird durch die Stange Ko, welche vermittelst eines Gleitstücks zwischen Stahlschienen eine gerade Führung erhält, der Treibstange oi, und von dieser der Kurbel ic mitgetheilt; letztere setzt dann die Axe c der mittleren oder Triebräder in Umdrehung, wodurch die Fortbewegung der Locomotive bewirkt wird.

Die kleineren Räder stehen mit dem Bewegungsmechanismus in keinerlei Verbindung und dienen blos zur Unterstützung der Locomotive.

Der Dampfschieber g wird durch die Stange ss mittelst des um x drehbaren Hebels mn und zwar auf folgende Art in Bewegung gesetzt: Der Hebel mn trägt an seinem untern Ende zwei sich gegenüberstehende Zapfen n. Der eine dieser Zapfen, nach der Figur der vordere, wird von einem gabelförmigen Eisenstück erfaßt. Diese Gabel ist mit der Stange MM, und diese selber mit ihrem andern Ende mit einem losen Ringe verbunden, welcher die mit der Radwelle c fest verbundene excentrische Scheibe e umschließt. Es ist nun klar, daß bei der Umdrehung dieses Excentrics der Schieber durch die beschriebene Vorrichtung

Digitized by Google

hin- und hergeschoben und dem Dampf der Eintritt in den Cylinder bald von der einen, bald von der andern Seite gestattet wird.

Wollte man mit der Locomotive nur nach einer Richtung fahren, so genügte die beschriebene Einrichtung. Allein man soll mit derselben auch und zwar jeden Augenblick rückwärts, d. h. nach der entgegengesetzten Richtung fahren können. Zu dem Zwecke ist der zweite, entgegengesetzte Zapfen n am Hebel mn und eine zweite Gabel q vorhanden, welche mit der Stange NN verbunden ist, welche an ihrem Ende rechts mit einem, eine zweite excentrische Scheibe π umschließenden Halsbande versehen ist.

Zu beachten ist nun, daß die beiden excentrischen Scheiben ε und π eine entgegengesetzte Stellung haben, d. h. daß die beiden Excentricitäten sich direct gegenüber stehen.

Soll nun die Locomotive die entgegengesetzte Bewegung machen, so zieht der Locomotivführer den Hebel uv nach rechts. Dadurch wird auch die Stange $a^1 b^1$ nach rechts gezogen und ein um y drehbarer Winkelhebel $b^1 y r$ so verstellt, daß der Punkt r abwärts geht. Hierbei wird durch die Stange rn die Stange MM mit ihrer Gabel weggedrückt, und es wird letztere außer Eingriff mit dem vordern Zapfen n gesetzt. Gleichzeitig mit obiger Bewegung geht aber auch die Stange $d d^1$ nach rechts, der Winkelhebel $d^1 zp$ dreht sich um den festen Punkt z und zieht die Stange pq und mit dieser die Gabel q sammt der Stange NN so in die Höhe, daß die Gabel q den entgegengesetzten Zapfen n erfaßt.

Durch die Stange NN, welche von dem nach links vorstehenden Excentric π dirigirt wird, wird aber das untere Ende n des Hebels mn plötzlich nach links und also der obere Punkt m nach rechts geschoben. Dadurch ändert der Schieber g, dessen Stange ss gleichzeitig nach rechts gezogen wird, plötzlich seine Stellung und gestattet dem Dampf an der andern Seite des Cylinders den Eintritt, wodurch natürlich auch der Kolben und damit die Treibräder nach der entgegengesetzten Richtung bewegt werden.

Digitized by Google

Eine einfachere Art der Umsteuerung, d. h. der Umkehr der Bewegung, wird durch die Stephenson'sche Coulisse Fig. 146 S. 174 bewirkt. Dort wird durch Anziehen der Stange n o der sogenannte Steuerrahmen oder die Coulisse a b mittelst des sich um m drehenden Winkelhebels n m l und der Stange l b so verstellt, daß das am Ende der Schieberstange e d angebrachte Gleitstück c, das im Augenblicke oben in die schleifenartig gebildete Coulisse eingreift, alsdann in den untern Theil des Rahmens zu liegen kommt. Da nun von den beiden Endpunkten a und b der Coulisse die Stangen f und g nach den zwei entgegengesetzt angebrachten Excentrics h und i gehen, so begreift man leicht, daß — wie bei der oben beschriebenen Vorrichtung — so auch hier eine plötzliche Verstellung des Steuerrahmens a b eine eben so plötzliche Verstellung des Dampfschiebers zur Folge haben muß.

Das Gegengewicht p hat den Zweck, die Bewegung des Mechanismus zu erleichtern.

Zum Verständniß des Ganzen ist noch Folgendes zu bemerken:

Die von den doppelt vorhandenen Dampfcylindern beziehungsweise Kolben bewegten Kurbeln müssen an der mittlern oder Triebaxe so angebracht werden, daß sie einen rechten Winkel mit einander bilden, d. h. ihre gegenseitige Stellung zu der Axe muß um einen rechten Winkel abweichen. Dieses ist nothwendig, damit die von den Kolbenstangen auf die Kurbeln übertragenen Kräfte zur Wirkung gelangen. Fällt die eine Kurbel mit der Richtung der zugehörigen Treibstange zusammen, so findet nämlich eine Kraftübertragung nicht statt; — die Maschine ist dann in ihrem todten Punkte angekommen. Macht alsdann aber die andere Triebstange mit der zugehörigen Kurbel einen rechten Winkel, so ist die Kraftübertragung in diesem Augenblicke dort am größten.

Bei den gewöhnlichen Dampfmaschinen und so auch bei den oben beschriebenen Niederdruckmaschinen Fig. 143, welche nur einen Cylinder haben, hilft man sich durch die Wirkung eines angebrachten Schwungrades über den todten Punkt weg.

Bezüglich der vom Locomotivführer zu bewerkstelligenden Regulirung der Bewegung wird bemerkt, daß durch Drehung der

Digitized by Google

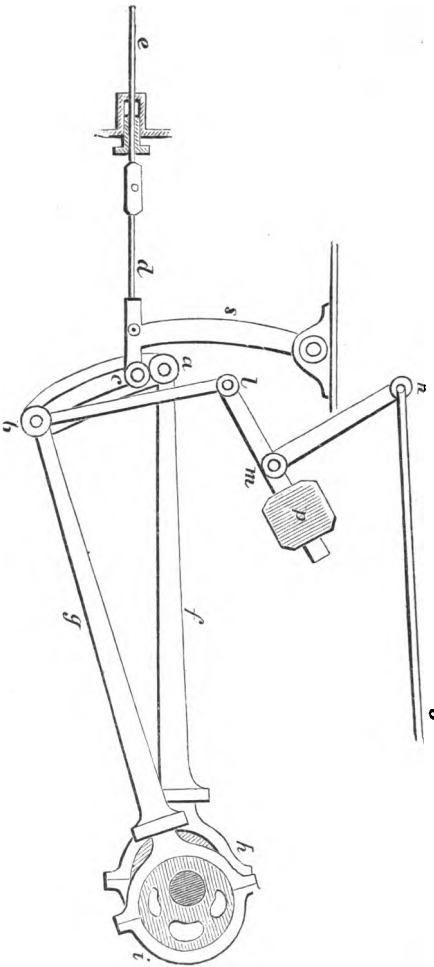


Fig. 146.

Digitized by Google

Kurbel LP und der Stange PQ Fig. 144 eine Platte n^1 n^1 im Dampfrohr CC so verstellt wird, daß mehr oder weniger Dampf in die Cylinder gelangen kann. Diese bewegliche Platte hat nämlich Oeffnungen von gleicher Art, wie eine hinter ihr angebrachte feste Platte. Fallen die Oeffnungen der beiden Platten auf einander, so hat der Dampf ungehinderten Abfluß. Verschiebt man aber die bewegliche Platte, so werden dadurch die Abflußöffnungen verengt.

U ist der vom Locomotivführer regierte Hahn der Speisepumpe, welche von der Maschine selbst betrieben wird. GH ist der Schornstein, in welchem sich das Blaserohr h befindet, durch welches der durch die Höhlung des Schiebers und die Oeffnung e gehende Dampf abströmt. Vermöge seiner großen Geschwindigkeit reißt der Dampf bei seinem Austritt in den Schornstein den Rauch und die Feuergase mit sich und bewirkt dadurch einen kräftigen Zug so wie eine reichliche Verbrennung.

Die Signalpfeife besteht aus einer Glockenschale, welche durch den aus einer engen, ringförmigen Oeffnung gegen den Rand der Glocke heftig anströmenden Dampf in Vibration, ins Tönen versetzt wird.

VV sind Sicherheitsventile.

176. Was ist über Dampfmaschinen im Allgemeinen sonst noch zu bemerken?

Es ist anzuführen, daß die neueren Maschinen größtentheils von liegender Anordnung sind, d. h. der Dampfcylinder hat eine horizontale Lage. Maschinen mit Balancier kommen nur noch selten vor. Sodann ist zu bemerken, daß man jetzt häufig viel höhere Dampfspannungen als früher und zwar bis zu 10 Atmosphären anwendet.

Fig. 147 zeigt eine Dampfmaschine von liegender Anordnung. Dampfmaschinen von wesentlich anderer Anordnung sind die Rotationsdampfmaschinen, s. Fr. 173.

Digitized by Google

177. Wie läßt sich die Wirkungsgröße der Dampfmaschinen berechnen?

Die von dem Kolben einer Dampfmaschine ausgeübte Wirkung oder mechanische Arbeit ist natürlich um so größer, je

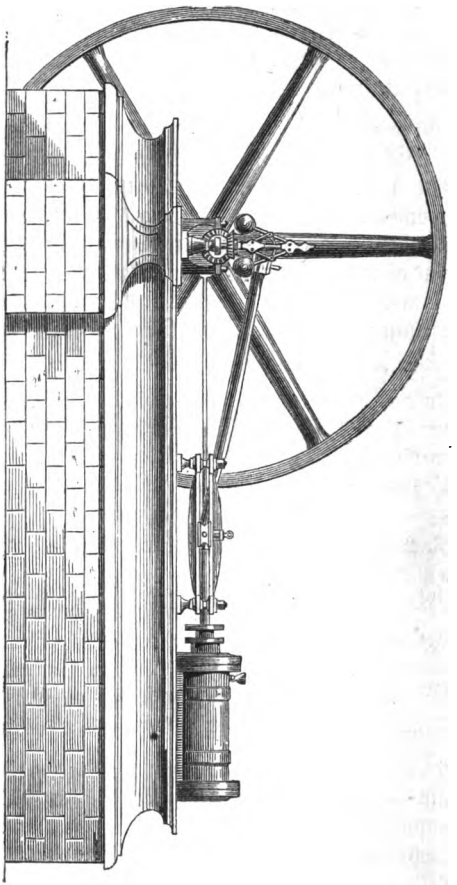


Fig. 147.

Digitized by Google

größer die Dampfspannung, je geringer der Gegendruck auf den Kolben und je größer die Grundfläche des letzteren ist, da bei einer großen Kolbenfläche auch mehr Dampf zum Angriffe d. h. zur Wirkung gelangt. Die Wirkungsgröße der Maschine hängt aber auch ab von der Geschwindigkeit, mit welcher der Kolben bewegt wird, und es ist ja überhaupt nach Kap. 2 Fr. 17 die in der Zeiteinheit, nämlich in einer Secunde, verrichtete Arbeitsgröße immer gleich dem Producte P.v aus dem ausgeübten Drucke multiplicirt mit dem in der Secunde vom Angriffspunkte der Kraft zurückgelegten Weg.

Hat z. B. der verwendete Dampf eine Spannung von 4 Atmosphären, so drückt derselbe nach Fr. 156 auf eine Fläche von 1 □cm mit 4 k. Als Gegendruck auf den Kolben wirkt, wenn keine Condensation angewendet wird und der verwendete Dampf also in die Luft strömt, der Luftdruck, welcher per □cm 1 k beträgt. Bei angewendeter Condensation ist der Gegendruck nur $^1/_{10}$ Atmosphäre, also nur $^1/_{10}$ k auf einen □cm.

Nehmen wir nun an, es sei keine Condensation vorhanden, so wäre der von dem Kolben fortgepflanzte oder der sogenannte Ueberdruck $= 4 - 1 = 3$ k per □cm.

Soviel □cm die Kolbenfläche nun enthält, so vielmal 3 k beträgt der eigentliche arbeitende Druck.

Nach den Lehren der Geometrie ist aber der Inhalt einer Kreisfläche $= \frac{3{,}14 \,.\, d \,.\, d}{4}$, wenn d den Durchmesser bezeichnet.

Bei einem Durchmesser von 30 cm betrüge demnach die Kolbenfläche $\frac{3{,}14 \,.\, 30 \,.\, 30}{4} = 706{,}5$ □cm, und also der Dampfüberdruck $3 \,.\, 706{,}5 = 2119{,}5$ d. i. 2120 k.

Dieser Druck muß nun mit dem vom Kolben in jeder Secunde zurückgelegten Wege multiplicirt werden. Man erhält diesen Weg aber, wenn man die Hublänge des Kolbens, d. h. die Länge eines einfachen Hin- und Herganges, so wie die Zahl der Kolbenhübe in einer Minute kennt.

Digitized by Google

Wäre die Hublänge = 0,8 Meter und macht die Maschine in einer Minute 40 Doppelhübe oder Umdrehungen der Schwungradwelle, so wäre der Kolbenweg bei einem Doppelhub = 2.0,8 und also in einer Minute = 40.2.0,8, und folglich in einer Secunde $= \frac{40.2.0,8}{60} = 1,066$ m.

Somit ist die Arbeit der Dampfmaschine in einer Secunde = 2120.1,066 = 2260 kgm.

Da eine Arbeit von 75 kgm (vergl. oben Kap. 2 Fr. 17) gleich einer sogenannten Pferdekraft ist, so wäre die theoretische Leistung der genannten Dampfmaschine gleich der von 30 Pferdekräften.

Nach gemachten Beobachtungen geht von dieser Wirkung durch Reibung des Kolbens, Abkühlung des Dampfes ꝛc. und andere Umstände etwa die Hälfte verloren, und es vermöchte also die fragliche Dampfmaschine in Wirklichkeit nur einen sogenannten Nutzeffect von 15 Pferdekräften abzugeben.

Ist d der Durchmesser des Kolbens und bezeichnet p den Druck des Dampfes und q den Gegendruck auf die Flächeneinheit (1 Quadratcentimeter), so ist der vom Kolben übertragene Druck $P = \frac{3,14.d^2}{4}.(p-q)$ k.

Nennt man die einfache Hublänge l und die Zahl der Doppelhübe per Minute n, so ist der secundliche Weg des Kolbens $v = \frac{2.l.n}{60}$, und folglich die Leistung der Dampfmaschine per Secunde $P.v = \frac{3,14.d^2}{4}.(p-q).\frac{2.l.n}{60}$ kgm.

Bei Berechnung der Leistungsfähigkeit der Expansionsmaschinen bestimmt man zuerst die Arbeit, welche vor der Absperrung des Dampfes verrichtet wird. Diese Rechnung wird gerade so geführt, wie die oben für eine gewöhnliche Dampfmaschine gemachte Berechnung, da frischer Dampf vor der eintretenden Absperrung ja beständig zuströmt. Alsdann berechnet man die während der Absperrung bei der Ausdehnung des Dampfes nach einander gemäß Fr. 135 und 158 eintretenden Drücke auf den Kolben und bestimmt hieraus den mittleren Druck beziehungsweise Ueberdruck. Durch Multiplication dieses mittleren wirksamen Druckes mit dem während der Expansion

Digitized by Google

des Dampfes durchlaufenen Kolbenwege erhält man dann die während der Absperrung d. h. auf dem Reste des Hubes vom Dampf verrichtete Arbeit.

Werden dann die vor und während der Absperrung verrichteten Arbeiten addirt, so erhält man die während eines Hubes ausgeübte Arbeit. Multiplicirt man endlich diese Arbeitsgröße mit der Anzahl der per Minute gemachten einfachen Hübe und theilt mit 60, so erhält man wieder die Arbeit der Maschine per Secunde.

178. Was ist das Eigenthümliche der in jüngster Zeit vielfach als sogenannte Kleinmotoren (Kleinkraftmaschinen) zur Anwendung gelangenden Heißluft- und Gasmaschinen?

Bei den Heißluft- oder calorischen Maschinen wird gewöhnliche Luft auf einen hohen Grad erhitzt, wobei sich dieselbe stark auszudehnen strebt. Die erhitzte, zum Theil auch vorher zusammengepreßte verdichtete Luft wird dann in einen Cylinder geleitet und es treibt, ähnlich wie bei dem Dampf, die zur Wirkung gelangende Expansivkraft der gespannten Luft einen Kolben vorwärts.

Bei den Gaskraftmaschinen wird ein Gemisch von gewöhnlicher Luft und Beleuchtungsgas angewendet und im Arbeitscylinder angezündet. Durch die dadurch bewirkte Explosion (oder auch bloße Expansion) wird ein im Cylinder befindlicher Kolben nach der einen Seite, nämlich nach auswärts, getrieben. Dann bringt, nach der alsbald erfolgten Abkühlung und Verdünnung des Gasgemenges unter dem Kolben, der Atmosphärendruck in Verbindung mit der Wirkung des vorhandenen Schwungrades den Kolben wieder in seine frühere Stellung zurück, worauf das Spiel der Maschine von Neuem beginnt.

Die bekanntesten Heißluftmaschinen sind die von W. Lehmann und J. Hock.

Die Lehmann'sche Maschine wird durch Fig. 148 S. 180 dargestellt*).

*) Eingehenderes über Heißluft- und Gasmaschinen ꝛc. ꝛc. siehe in des Verfassers „Mechanik für Gewerbeschulen ꝛc.". 4. Aufl. Stuttgart, J. Engelhorn.

Digitized by Google

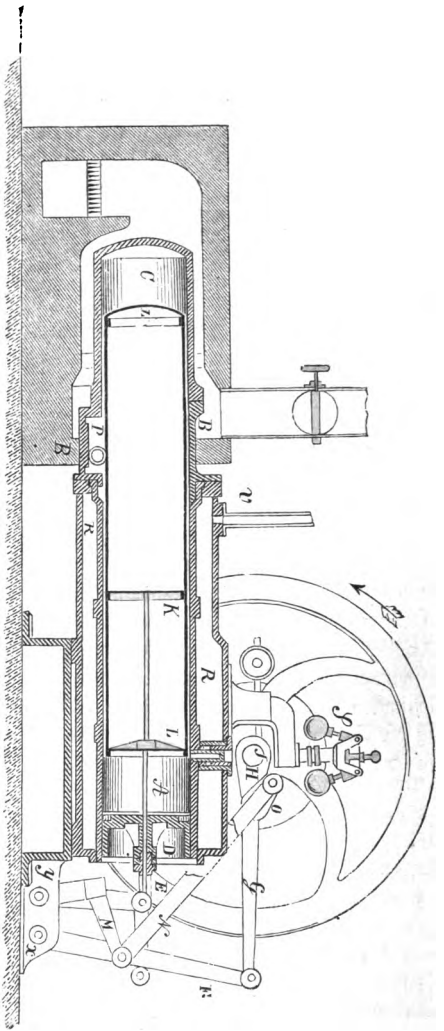


Fig. 148.

Digitized by Google

Dieselbe besteht der Hauptsache nach aus einem langen, liegenden Cylinder, welcher vorn (rechts) offen und auf der andern Seite geschlossen ist. Der Theil A ist der eigentliche Arbeitscylinder; das Zwischenstück B und der sogenannte Feuertopf C sind in einem Ofen eingemauert und werden erhitzt. In A befindet sich der Arbeitskolben D, dessen Bewegung durch die doppelt vorhandenen Stangen E auf die Arme eines, um die Axe x drehbaren Gabelhebels übertragen wird. Die Bewegung dieses Hebels wird dann einem längeren, sich um die nämliche Axe x drehenden Hebel F mitgetheilt. Dieser setzt durch die Leitstange G und die Kurbel H die Schwungradwelle J in Bewegung. Gleichzeitig mit der genannten Uebertragung wird sodann durch eine sogenannte Gegenkurbel O und die Schubstange N ein Hebel M bewegt, auf dessen Axe y sich ein zweiter Hebel befindet. Dieser überträgt die vom Schwungrad erhaltene Bewegung auf die durch die Mitte des Arbeitskolbens gehende gut abgedichtete Stange des Speisekolbens oder Verdrängers LL und auf diesen selbst. Der Verdränger ist ein luftdicht genieteter Blechcylinder, welcher der leichteren Bewegung halber auf einer Rolle P ruht. In dem Raume R zwischen dem Arbeitscylinder und einem umgebenden Mantel circulirt kaltes Wasser, um den Cylinder kühl zu erhalten.

Die Wirkung der Maschine ist nun folgende: Beim Hin- und Hergange des Verdrängers wird die in der Maschine eingeschlossene Luft abwechselnd nach dem heißen Feuertopf und nach dem kalten Theil des Cylinders gedrängt. Die Luft wird also das eine Mal erhitzt, das andere Mal abgekühlt und wird sich in Folge dessen ausdehnen und wieder zusammenziehen und zwar so oft, als der Verdränger nach vorn und wieder nach hinten bewegt wird. In Folge der Ausdehnung der Luft wird dann der Arbeitskolben D nach vorn gedrückt, bei der Zusammenziehung dagegen nach innen geschoben und zwar Letzteres durch Wirkung des angebrachten Schwungrades.

Die wechselnde Zusammenziehung und Ausdehnung der Luft im Arbeitscylinder hat ihren Grund in den verschiedenen Stellungen und Längen der Arbeitskurbel H und der Gegen-

Digitized by Google

kurbel O, welch letztere den Verdränger bewegt. Dieser und der Arbeitskolben bewegen sich mit ungleicher Geschwindigkeit und das eine Mal in der nämlichen, das andere Mal in verschiedener Richtung, weshalb der kalte Luftraum bald größer, bald kleiner wird.

Der sogenannte „Sparmotor" von Hock, Fig. 149, ist eine Heißluftmaschine mit aufrechtstehendem Cylinder. Ihrem Wesen nach unterscheidet sich dieselbe von der Lehmann'schen Maschine dadurch noch, daß sie mit einer, auf dem oberen Theile des Cylinders befindlichen Luftpumpe versehen ist, welche kalte Luft von außen einsaugt und dann in den am unteren Ende der Maschine angebrachten Ofen preßt. Die dort erhitzte, hochgespannte Luft wird dann sammt den Verbrennungsgasen in den Arbeitscylinder geführt und wirkt dann durch ihre Ausdehnung auf den Kolben. Nach vollendetem Kolbenhube entweicht die Luft sammt den Verbrennungsproducten durch ein Ventil, worauf durch Wirkung des Schwungrads der Kolben wieder nach der anderen Seite bewegt wird.

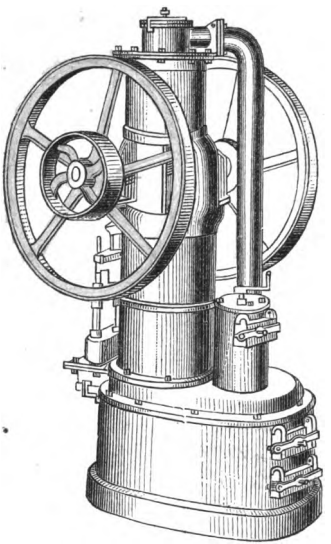


Fig. 149.

Die Vorzüge der Heißluft- und auch der Gasmaschinen vor den Dampfmaschinen bestehen darin, daß sie in jedem Raum aufgestellt werden dürfen, da dies ohne Gefahr geschehen kann; auch ist ihre Bedienung eine einfachere, als die der Dampf-

Digitized by Google

maschinen. Ein Uebelstand ist dagegen bei beiderlei Maschinen, insbesondere aber bei den Heißluftmaschinen die stattfindende starke Erhitzung des Cylinders, weil dies eine rasche Abnutzung verschiedener Theile zur Folge hat.

Die Gasmaschinen bieten vor den Heißluftmaschinen sodann den großen Vortheil, daß sie kein Anheizen verlangen, sondern nach Bedarf jeden Augenblick in und außer Betrieb gesetzt werden können; auch ist ihre Wartung noch einfacher und auch die Erhitzung weniger bedeutend.

Die bis jetzt verbreitetste Gaskraftmaschine ist die von den Herren Otto und Langen in Cöln, wovon Fig. 150 S. 184 eine Darstellung giebt. Bei derselben wird im untern Theil des oben offenen, aufrechtstehenden Cylinders beim Aufwärtsgehen des Kolbens ein Gemisch von gewöhnlicher Luft und Leuchtgas eingesaugt und dann durch Vermittelung eines Schiebers im richtigen Augenblick durch ein außerhalb beständig brennendes Gasflämmchen entzündet und zur Explosion gebracht. Dadurch wird der Kolben in die Höhe geschleudert, ohne dabei aber seine Bewegung auf die vorhandene Schwungradwelle zu übertragen. Durch die bedeutende Ausdehnung der Verbrennungsgase erkalten diese sehr rasch und ziehen sich zusammen, was zur Folge hat, daß der auf der Oberseite des Kolbens wirksame atmosphärische Druck diesen wieder abwärts treibt, wobei die Verbrennungsgase dann nach außen verdrängt werden. Erst beim Abwärtsgehen wird die Bewegung des Kolbens der Schwungrad- oder Arbeitswelle mitgetheilt.

Dies geht so zu: Die Kolbenstange a ist gezahnt und greift in ein, auf der Schwungradwelle befindliches Zahnrad b ein. Beim Aufwärtsgehen der Kolbenstange dreht sich das Zahnrad (Zahnkranz) frei auf der Welle und erst beim Rücklauf des Kolbens wird dasselbe durch eine besondere Vorrichtung — das Schaltwerk — mit der Welle fest gekuppelt und in Umdrehung gesetzt. Durch c wird das Gas zugeführt, d ist die Schieberstange, bei f brennt das äußere Flämmchen, welches durch das Rohr g gespeist wird. Bei l gehen die verbrauchten Gase ab, in m tritt Kühlwasser ein, um den Cylinder vor zu starker Erhitzung zu schützen, bei o tritt dasselbe wieder aus. — Die Bewegung des

Digitized by Google

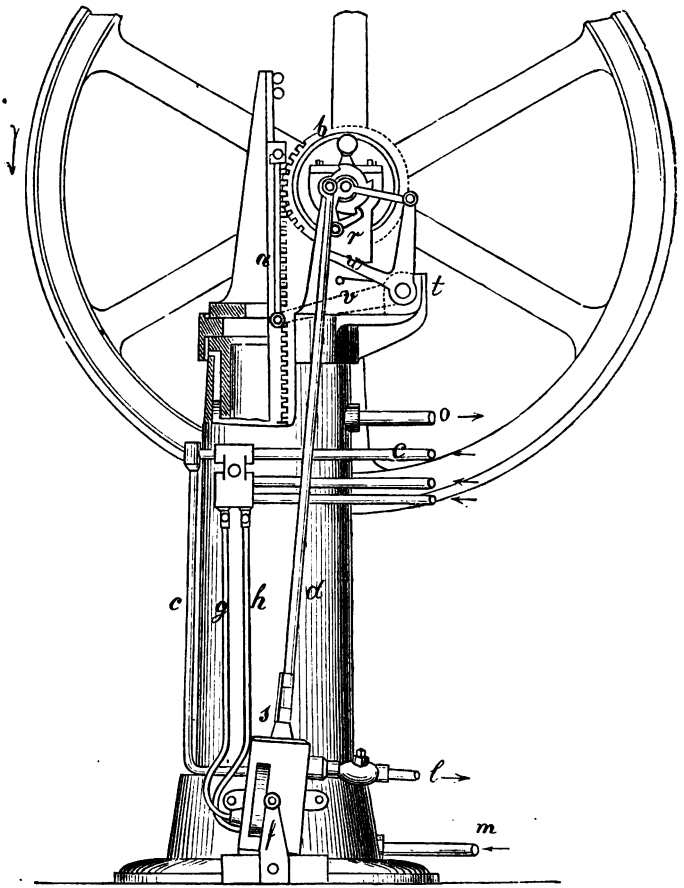


Fig. 150.

Digitized by Google

Schiebers wird durch die Schwungradwelle mit Hilfe eines Sperrrades und der Sperrklinke p vermittelt. Sodann ist noch ein sogenannter Anhubmechanismus vorhanden, dessen wesentlichster Theil ein dreiarmiger Hebel ist, wodurch die Kolbenstange nach der tiefsten Kolbenlage angefaßt und wieder gehoben wird.

Der Betrieb der Otto-Langen'schen Maschine hat den Uebelstand, daß derselbe mit einem sehr unangenehmen Geräusch verbunden ist. Diesem wurde zunächst durch Gilles in Cöln, insbesondere aber durch Otto's neuen Gasmotor gründlich abgeholfen.

Diese äußerst ruhig gehende Maschine, von welcher die Figuren 151 und 152 Darstellungen im Aufriß und Grundriß geben, ist von wesentlich anderer Anordnung. Das Eigenthümliche derselben besteht in Folgendem:

Der Cylinder A ist liegend und vorn (rechts) offen. Am geschlossenen linken Ende ist ein Raum, woselbst immer ein Rest der vom vorigen Kolbenspiele herrührenden verbrauchten Gase zurückbleibt. Bei dem, durch das in Gang gesetzte Schwungrad bewirkten Anhub des Kolbens B, welcher seinen Lauf in e beginnt, wird während der ersten Hälfte des Hubes, also von e bis f, durch eine am Cylinderboden angebrachte Oeffnung Luft und dann, während der Kolben sich von f nach g bewegt, ein Gemenge von Luft und Gas eingesaugt. Bei diesem Vorgange verdrängt die eingesaugte Luft die Verbrennungsproducte, welche vom vorigen Kolbenhube im untersten Theile des Cylinders zurückgeblieben sind; alsdann verdrängt das später zugeführte Gemisch von Luft und Gas die vorher eingesaugte Luft und füllt den untern Theil des Cylinders. Der Kolben hat unterdessen seinen Hub vollendet und es befinden sich zunächst an demselben die zurückgebliebenen Verbrennungsgase des vorhergegangenen Spiels der Maschine, dann Luft und zuletzt das brennbare Gemisch von Luft und Gas. Diese drei Gase, beziehungsweise Gasgemische, bleiben nun aber nicht getrennt. Dieselben mischen sich aber auch nicht gleichmäßig, sondern es enthält die unterste, am Cylinderboden befindliche Schicht am meisten und die dem Kolben nächste Schicht am wenigsten brennbares Gas. — Jetzt beginnt

Digitized by Google

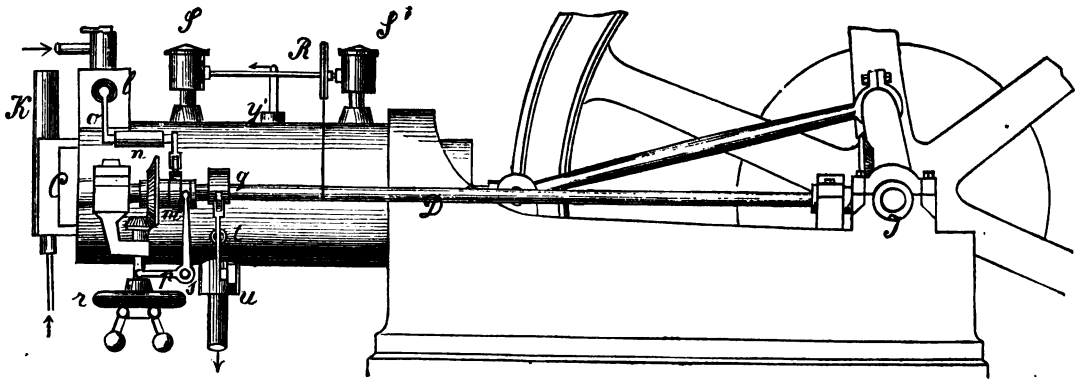


Fig. 151.

Digitized by Google

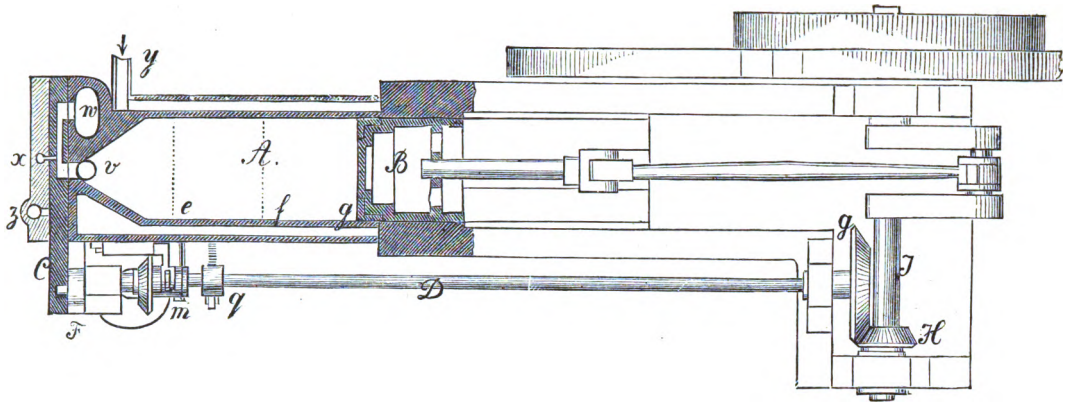


Fig. 152.

Digitized by Google

der Kolben durch die Wirkung des Schwungrades seinen Rücklauf und preßt die unter ihm befindlichen Gase zusammen. Ist der Rücklauf beendigt und hat ein neuer Hub begonnen, so wird durch den Schieber C eine Flamme in den Gasverdichtungsraum eingeleitet, welche die Entzündung des Gasgemisches bewirkt.

Diese Entzündung ist nun aber keine plötzliche, wie bei der Otto-Langen'schen Maschine, sondern sie schreitet in Folge der angeführten ungleichen Mischung der Gase nur allmählich vor und ist in der Nähe des Kolbens eine ziemlich langsame. Aus diesem folgt aber nun, daß die Wirkung der Expansion der Gase keine plötzliche, explosible, sondern eine andauernde, allmähliche ist und daß der Kolben statt eines plötzlichen Anstoßes einen andauernden Druck empfängt.

In Folge dieses Druckes bewegt sich der Kolben wieder nach rechts und setzt das Schwungrad in Bewegung. Dieses bewirkt dann wieder aufs Neue den Rücklauf des Kolbens, worauf das beschriebene Spiel der Maschine sich wiederholt.

Aus dem Gesagten ergiebt sich, daß während eines doppelten Hin- und Hergangs des Kolbens, also während zweier Umdrehungen des Schwungrades, nur einmal Luft und Gas eingeführt und die Verbrennungsgase, d. h. ein Theil davon, abgeleitet werden. Es darf darum die durch die Schwungradwelle J in Umtrieb gesetzte Steuerwelle D nur eine Umdrehung machen, während die Schwungradwelle zwei macht. Zu dem Zweck hat das auf der Steuerwelle sitzende Zahnrad G doppelt so viel Zähne als das eingreifende auf der Schwungradwelle angebrachte Zahnrad H. Das Rad G macht also nur eine Umdrehung, während das Rad H zwei macht.

Zu bemerken ist noch, daß der Schieber C durch eine am linken Ende der Steuerwelle angebrachte Kurbel F hin- und herbewegt wird. Der Gaszufluß wird durch ein bei l befindliches Ventil regulirt. Dieses wird vermittelt durch den Arm o eines in der Hülse n drehbaren Gabelhebels, durch die auf der Steuerwelle angebrachte und mit einem Hebedaumen versehene Hülse (Muff) m, den Regulator r und einen mit diesem verbundenen, um s drehbaren Winkelhebel, dessen einer Arm in die Hülse m

Digitized by Google

eingreift. Der in n drehbare Hebel ruht nämlich mit dem einen Arm vermittelst eines Röllchens auf der Hülse m, während der andere, aufwärtsgehende Arm o auf das Ventil l wirkt. So oft nun der auf der Hülse m angebrachte Hebedaumen gegen das Röllchen anstößt, drückt der Hebelarm o das Ventil bei l auf, so daß Gas in den Cylinder strömen kann. Geht die Maschine zu rasch, so wird durch den sich hebenden Regulator r der damit verbundene Hebelarm p aufwärts gedrückt und die auf der Steuerwelle verschiebbare Hülse m nach rechts gerückt. Der auf dieser angebrachte Hebedaumen wirkt also nicht mehr auf den Hebel des Ventils l und dieses bleibt geschlossen.

Der Austritt der verbrauchten Gase wird durch eine zweite, auf der Steuerwelle sitzende, mit einem Kamme oder Hebedaumen versehene Scheibe q, den Hebelarm t und das bei u angebrachte Austrittsventil vermittelt. Die Verbrennungsproducte gehen durch die im Innern des Cylinders vorhandene Oeffnung v und einen Canal nach dem Austrittsventil ab. — Bei w findet die Zuleitung der Luft und bei x die des Gases in den Schieber statt. Der Cylinder ist mit einem Wassermantel versehen, obgleich die Erhitzung bei dieser Maschine weniger groß ist. Das Kühlwasser tritt in y ein und in y' aus.

Anmerkung. Die Petroleum-Motoren stimmen in ihrer Einrichtung und Wirkung mit den Gasmaschinen ganz überein. Bei denselben mischen sich Petroleumdämpfe und Luft zu einem explodirbaren Gemenge, das dann im Cylinder zur Entzündung und Wirkung gebracht wird.

Die bekanntesten Petroleum-Motoren sind die von der „Deutzer Gasmotorenfabrik" gelieferten Petroleumkraftmaschinen und die Motoren von J. Hock in Wien und dem Amerikaner Brayton.

Der von der Deutzer Fabrik gelieferte Motor arbeitet wie die Otto-Langen'sche Gaskraftmaschine, der Gang ist aber ruhiger. Bei der Entzündung des vorher angesaugten Gemisches von Petroleumdämpfen und Luft wird durch die erfolgende Explosion der Arbeitskolben auswärts geschleudert; durch den atmosphä-

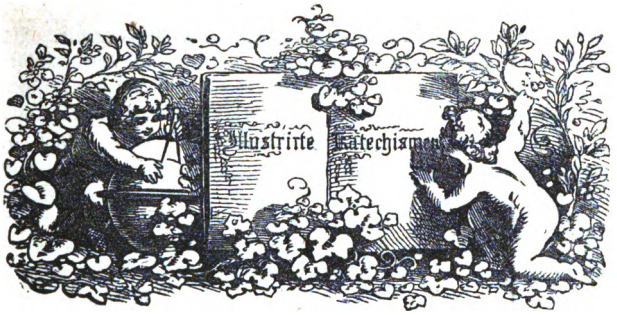
Digitized by Google

rischen Druck und die angesammelte lebendige Kraft wird der Rücklauf des Kolbens bewirkt.

Bei Brayton's Motor („Ready Motor") wird die Luft in einen besonderen Cylinder eingesaugt und daselbst verdichtet. Dieselbe passirt dann ein feines Drahtnetz und einen mit Filz oder Schwamm angefüllten Raum, in welchen Petroleum eingepumpt wird. Hier bilden sich dann die Petroleumdämpfe und mischen sich mit der Luft.

Druck von J. J. Weber in Leipzig.

Digitized by Google



Im Verlage des Unterzeichneten sind erschienen und durch alle Buchhandlungen zu beziehen:

Illustrirte Katechismen.

Belehrungen aus dem Gebiete der Wissenschaften, Künste und Gewerbe.

Ackerbau. Zweite Auflage. — **Katechismus des praktischen Ackerbaues.** Von Dr. Wilh. Hamm. Zweite, gänzlich umgearbeitete, bedeutend vermehrte Aufl. Mit 100 in den Text gedr. Abbild. Mk. 1. 50

Ackerbauchemie. Fünfte Auflage. — **Katechismus der Ackerbauchemie,** der Bodenkunde und Düngerlehre. Von Dr. Wilh. Hamm. Fünfte, gänzlich umgearbeitete, bedeutend vermehrte Auflage. Mit 45 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Aesthetik. — **Katechismus der Aesthetik. Belehrungen über die** Wissenschaft vom Schönen und der Kunst. Von Robert Prölß. Mk. 2. 50

Algebra. Zweite Auflage. — **Katechismus der Algebra, oder die Grund**lehren der allgemeinen Arithmetik. Von Friedr. Herrmann. Zweite Auflage, vermehrt und verbessert von K. F. Heym. Mit 8 in den Text gedruckten Figuren und vielen Uebungsbeispielen. Mk. 1. 50.

Arithmetik. Zweite Auflage. — **Katechismus der praktischen Arithmetik.** Kurzgefaßtes Lehrbuch der Rechenkunst für Lehrende und Lernende. Von E. Schick. Zweite, umgearbeitete und vermehrte Auflage, bearbeitet von Max Meyer. Mk. 2

Digitized by Google

Astronomie. Fünfte Auflage. — **Katechismus der Astronomie.** Belehrungen über den gestirnten Himmel, die Erde und den Kalender. Von Dr. G. A. Jahn. Fünfte, verbesserte und vermehrte Auflage, bearbeitet von Dr. Adolph Drechsler. Mit einer Sternkarte und 72 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 50

Auswanderung. Fünfte Auflage. — **Compaß für Auswanderer nach** Ungarn, Algerien, den Capcolonien, nach Australien, den süd- und mittelamerikanischen Staaten, den Vereinigten Staaten von Nordamerika und Canada. Von Eduard Pelz. Mit 4 Karten und 1 Abbildung. Fünfte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mk. 1

Baustyle. Sechste Auflage. — **Katechismus der Baustyle, oder Lehre** der architektonischen Stylarten von den ältesten Zeiten bis auf die Gegenwart. Von Dr. Ed. Freiherrn von Sacken. Sechste, verbesserte Auflage. Mit einem Verzeichniß von Kunstausdrücken und 103 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Bibliothekenlehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der Bibliothekenlehre.** Anleitung zur Einrichtung und Verwaltung von Bibliotheken. Von Dr. Jul. Petzholdt. Dritte, verbesserte Auflage. Mit 17 in den Text gedruckten Abbildungen und 15 Schrifttafeln. Mk. 2

Bienenkunde. Zweite Auflage. — **Katechismus der Bienenkunde** und Bienenzucht. Von G. Kirsten. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 47 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1

Bleicherei, Färberei und Zeugdruck. — **Katechismus der Bleicherei,** Färberei und des Zeugdrucks, oder Lehre von der chemischen Bearbeitung der Gespinnstfasern. Von Herm. Grothe. Mit 44 in den Text gedruckten Abbildungen und zwei Tafeln Zeugproben. Mk. 1. 50

Börsengeschäft. Zweite Auflage. — **Katechismus des Börsengeschäfts,** des Fonds- und Actienhandels. Von Hermann Hirschbach. Zweite, gänzlich umgearbeitete Auflage. Mk. 1. 50

Botanik. — **Katechismus der Allgemeinen Botanik. Von Prof.** Dr. Ernst Hallier. Mit 95 in den Text gedr. Abbild. Mk. 2

Botanik, landwirthschaftliche. Zweite Auflage. — **Katechismus der landwirthschaftlichen** Botanik. Von Carl Müller. Zweite, vollständig umgearbeitete Auflage von R. Herrmann. Mit 4 Tafeln und 48 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 50

Buchdruckerkunst. Vierte Auflage. — **Katechismus der Buchdruckerkunst** und der verwandten Geschäftszweige. Von C. A. Franke. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit vielen in den Text gedruckten Abbildungen und Tafeln. [Unter der Presse.

Digitized by Google

Buchführung. Zweite Auflage. — **Katechismus der kaufmännischen Buchführung.** Zweite Auflage, ganz neu bearbeitet von Oskar Klemich. Mit 7 in den Text gedr. Abbild. u. 3 Wechselformularen. Mk. 2

Buchführung, landwirthschaftliche. — **Katechismus der landwirthschaftlichen Buchführung.** Von Prof. C. Birnbaum. Mk. 2

Chemie. Vierte Auflage. — **Katechismus der Chemie.** Von Prof. Dr. H. Hirzel. Vierte, vermehrte Auflage. Mit 31 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Compositionslehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der Compositionslehre.** Von Prof. J. C. Lobe. Dritte, verbesserte Auflage. Mit vielen in den Text gedruckten Musikbeispielen. Mk. 1. 50

Culturgeschichte. — **Katechismus der Culturgeschichte.** Von J. J. Honegger. Mk. 2

Drainage. Zweite Auflage. — **Katechismus der Drainirung oder** der Entwässerung des Bodens durch unterirdische Abzüge. Von Dr. W. Hamm. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 78 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1

Dramaturgie. — **Katechismus der Dramaturgie.** Von Robert Prölß. Mk. 2. 50

Droguenkunde. — **Katechismus der Droguenkunde.** Von Dr. G. Heppe. [Unter der Presse.

Einjährig-Freiwillige. Zweite Ausgabe. — **Katechismus für den Einjährig-Freiwilligen.** Von M. von Süßmilch, gen. Hörnig. Zweite, durchgesehene Ausgabe. Mit 52 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2. 50

Feldmeßkunst. Dritte Auflage. — **Katechismus der Feldmeßkunst mit** Kette, Winkelspiegel und Meßtisch. Von Fr. Herrmann. Dritte, verbesserte, nach dem metrischen Systeme bearbeitete Auflage. Mit 92 in den Text gedruckten Figuren und einer Flurkarte. Mk. 1. 20

Finanzwissenschaft. Zweite Auflage. — **Katechismus der Finanzwissenschaft** oder die Kenntniß der Grundbegriffe und Hauptlehren der Verwaltung der Staatseinkünfte. Von A. Bischof. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mk. 1

Flachsbau. — **Katechismus des Flachsbaues und der Flachsbereitung.** Von C. Sonntag. Mit 12 in den Text gedr. Abbild. Mk. 1

Forstbotanik. Dritte Auflage. — **Katechismus der Forstbotanik.** Von H. Fischbach. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 77 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Galvanoplastik. Zweite Auflage. — **Katechismus der Galvanoplastik.** Ein Handbuch für das Selbststudium und den Gebrauch in der Werkstatt. Von Dr. G. Seelhorst. Zweite, vollständig umgearbeitete Aufl. Mit Titelbild und 40 in den Text gedr. Abbild. Mk. 1. 50

Digitized by Google

Gedächtnißkunst. Vierte Auflage. — **Katechismus der Gedächtnißkunst** oder Mnemotechnik. Von Hermann Kothe. Vierte, von J. B. Montag sehr verbesserte und vermehrte Auflage. Mk. 1. 20

Geographie. Dritte Auflage. — **Katechismus der Geographie.** Von Dr. K. Vogel. Dritte, von Dr. O. Delitsch besorgte Auflage. Mit 24 in den Text gedruckten Karten und Abbild. Mk. 1. 20

Geographie, mathematische. — **Katechismus der mathematischen** Geographie. Von Dr. Ad. Drechsler. Mit 113 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2. 50

Geologie. Dritte Auflage. — **Katechismus der Geologie, oder Lehre vom** inneren Bau der festen Erdkruste und von deren Bildungsweise. Von Prof. Bernhard v. Cotta. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 50 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 50

Geometrie. Zweite Auflage. — **Katechismus der ebenen und räumlichen** Geometrie. Von Prof. Dr. K. Ed. Zetzsche. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 209 in den Text gedruckten Figuren und 2 Tabellen zur Maßverwandlung. Mk. 2

Gesangskunst. Dritte Auflage. — **Katechismus der Gesangskunst.** Von F. Sieber. Dritte, verbesserte Auflage. Mit vielen in den Text gedruckten Notenbeispielen. Mk. 1. 50

Geschichte s. Weltgeschichte.

Geschichte, deutsche. — **Katechismus der deutschen Geschichte.** Von Dr. Wilh. Kentzler. Mk. 2. 50

Gesundheitslehre s. Makrobiotik.

Graph. Künste. — **Katechismus der Graph. Künste.** [In Vorbereitung.

Handelsrecht. — **Katechismus des deutschen Handelsrechts, nach** dem Allgemeinen Deutschen Handelsgesetzbuche. Von Robert Fischer. Mk. 1. 25

Handelswissenschaft. Fünfte Auflage. — **Katechismus der Handels-**wissenschaft. Von K. Arenz. Fünfte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mk. 1. 50

Heraldik. Zweite Auflage. — **Katechismus der Heraldik. Grundzüge der** Wappenkunde. Von Dr. Ed. Freih. v. Sacken. Zweite, vermehrte u. verbesserte Auflage. Mit 202 in den Text gedr. Abbild. Mk. 1. 50

Hufbeschlag. Zweite Auflage. — **Katechismus des Hufbeschlages. Zum** Selbstunterricht für Jedermann. Von E. Th. Walther. Zweite, verm. u. verbess. Aufl. Mit 67 in den Text gedr. Abbild. Mk. 1. 20

Hüttenkunde. — **Katechismus der allgemeinen Hüttenkunde. Von Dr.** E. F. Dürre. Mit 209 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 4

Digitized by Google

Kalenderkunde. — **Katechismus der Kalenderkunde.** Belehrungen über Zeitrechnung, Kalenderwesen und Feste. Von O. Freih. v. Reinsberg-Düringsfeld. Mit 2 in den Text gedruckten Tafeln. Mk. 1

Kindergärtnerei. Zweite Auflage. — **Katechismus der praktischen Kindergärtnerei.** Von Fr. Seidel. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 35 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Kunstgeschichte. — **Katechismus der Geschichte der Bildenden Künste.** [In Vorbereitung.

Literaturgeschichte. Zweite Auflage. — **Katechismus der allgemeinen Literaturgeschichte.** Von Dr. Ad. Stern. Zweite, durchgesehene Auflage. Mk. 2. 40

Literaturgeschichte, deutsche. Fünfte Auflage. — **Katechismus der deutschen Literaturgeschichte.** Von Schulrath Dr. Paul Möbius. Fünfte, vervollständigte Auflage. Mk. 1. 50

Makrobiotik. Dritte Auflage. — **Katechismus der Makrobiotik,** oder der Lehre, gesund und lange zu leben. Von Dr. med. H. Klencke. Dritte, durchgearbeitete und vermehrte Auflage. Mit 63 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Mechanik. Zweite Auflage. — **Katechismus der Mechanik.** Von Ph. Huber. Zweite, verbesserte Auflage. Mit 152 in den Text gedruckten Figuren. Mk. 2

Meteorologie. Zweite Auflage. — **Katechismus der Meteorologie.** Von Heinr. Gretschel. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 53 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 50

Mikroskopie. — **Katechismus der Mikroskopie.** [In Vorbereitung.

Mineralogie. Dritte Auflage. — **Katechismus der Mineralogie.** Von Prof. Dr. G. Leonhard. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 150 in den Text gedr. Abbildungen. Mk. 1. 20

Mnemotechnik s. Gedächtnißkunst.

Münz-, Maß- und Gewichtskunde. — **Katechismus der Münz-, Maß- und Gewichtskunde.** Von Prof. W. Treuber. Mit vielen in den Text gedruckten Figuren. [In Vorbereitung.

Musik, Neunzehnte Auflage. — **Katechismus der Musik. Erläuterung** der Begriffe und Grundsätze der allgemeinen Musiklehre. Von Prof. J. C. Lobe. Neunzehnte Auflage. Mk. 1. 20

Musikgeschichte. — **Katechismus der Musikgeschichte.** Von R. Musiol. Mit 14 in den Text gedr. Abbild. u. 34 Notenbeispielen. Mk. 2

Musikinstrumente. Dritte Auflage. — **Katechismus der Musikinstrumente** oder Belehrung über Gestalt, Tonumfang, Notirungsweise, Klang, Wirkung, Orchester- und Sologebrauch der verbreitetsten musikalischen Instrumente. Von F. L. Schubert. Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage, bearbeitet von J. C. Lobe. Mit 62 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Digitized by Google

Mythologie. Vierte Auflage. — **Katechismus der Mythologie aller** Culturvölker. Von Prof. Dr. Johannes Minckwitz. Vierte Auflage. Mit 72 in den Text gedruckten Abbild. [Unter der Presse.

Naturlehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der Naturlehre, oder** Erklärung der wichtigsten physikalischen und chemischen Erscheinungen des täglichen Lebens. Nach dem Englischen des Dr. C. E. Brewer. Dritte, von Heinrich Gretschel umgearbeitete Auflage. Mit 55 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Nivellirkunst. Zweite Auflage. — **Katechismus der Nivellirkunst. Mit** besonderer Rücksicht auf praktische Anwendung bei Erdarbeiten, Bewässerungen, Drainiren, Wiesen- und Wegebau ꝛc. Von Fr. Herrmann. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 56 in den Text gedruckten Figuren. Mk. 1. 20

Nutzgärtnerei. Dritte Auflage. — **Katechismus der Nutzgärtnerei,** oder Grundzüge des Gemüse- und Obstbaues. Von Hermann Jäger. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 48 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Orgel. Zweite Auflage. — **Katechismus der Orgel. Erklärung ihrer** Structur, besonders in Beziehung auf technische Behandlung beim Spiel. Von Prof. E. F. Richter. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 25 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Ornamentik. Zweite Auflage. — **Katechismus der Ornamentik, oder** Leitfaden über die Geschichte, Entwickelung und die charakteristischen Formen der bedeutendsten Verzierungsstyle aller Zeiten. Von F. Kanitz. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 130 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Orthographie. Vierte Auflage. — **Katechismus der deutschen Orthographie.** Von Dr. D. Sanders. Vierte, verbesserte Auflage. Mk. 1. 50

Philosophie. — **Katechismus der Philosophie. Von J. H. v. Kirchmann.** 2 Mk.

——— — **Katechismus der Geschichte der Philosophie von Thales** bis zur Gegenwart. Von Dr. Friedr. Kirchner. Mk. 2. 50

Photographie. Dritte Auflage. — **Katechismus der Photographie,** oder Anleitung zur Erzeugung photographischer Bilder. Von Dr. J. Schnauß. Dritte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 30 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 50

Phrenologie. Sechste Auflage. — **Katechismus der Phrenologie. Von** Dr. G. Scheve. Sechste, verbesserte Auflage. Mit einem Titelbild und 18 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Physik. Zweite Auflage. — **Katechismus der Physik. Von Heinrich** Gretschel. Zweite, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 132 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Digitized by Google

Poetik. Zweite Auflage. — **Katechismus der deutschen Poetik. Von Prof.** Dr. J. Minckwitz. Zweite, verm. u. verbesserte Aufl. Mk. 1. 50

Raumberechnung. Zweite Auflage. — **Katechismus der Raumberechnung,** oder Anleitung zur Größenbestimmung von Flächen und Körpern jeder Art. Von Fr. Herrmann. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 59 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Redekunst. Zweite Auflage. — **Katechismus der Redekunst. Anleitung** zum mündlichen Vortrage. Von Dr. Roderich Benedix. Zweite, durchgesehene Auflage. Mk. 1

Reichsverfassung. — **Katechismus des Deutschen Reiches. Ein** Unterrichtsbuch in den Grundsätzen des deutschen Staatsrechts, der Verfassung und Gesetzgebung des Deutschen Reiches. Von Dr. Wilhelm Zeller. Mk. 2

Schachspielkunst. Achte Auflage. — **Katechismus der Schachspielkunst.** Von K. J. S. Portius. Achte, verm. u. verbesserte Auflage. Mk. 2

Schreibunterricht. Zweite Auflage. — **Katechismus des Schreibunterrichts.** Zweite, neubearbeitete Auflage. Von Herm. Kaplan. Mit 147 in den Text gedruckten Figuren. Mk. 1

Spinnerei und Weberei. Zweite Auflage. — **Katechismus der Spinnerei,** Weberei und Appretur, oder Lehre von der mechanischen Verarbeitung der Gespinnstfasern. Von Herm. Grothe. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 101 in den Text gedr. Abbild. Mk. 1. 50

Sprachlehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der deutschen Sprachlehre.** Von Dr. Conrad Michelsen. Dritte, verb. Aufl., herausgegeben von Ed. Michelsen. Mk. 2

Stenographie. — **Katechismus der deutschen Stenographie. Ein** Leitfaden für Lehrer und Lernende der Stenographie im Allgemeinen und des Systems von Gabelsberger im Besonderen. Von Heinrich Krieg. Mit vielen in den Text gedr. stenograph. Vorlagen. Mk. 2

Stilistik. — **Katechismus der Stilistik. Ein Leitfaden zur Ausarbeitung** schriftlicher Aufsätze. Von Director Ed. Michelsen. [Unter der Presse.

Tanzkunst. Dritte Auflage. — **Katechismus der Tanzkunst. Ein** Leitfaden für Lehrer und Lernende. Von Bernhard Klemm. Dritte, verbesserte und vermehrte Auflage. Mit 78 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Telegraphie. Fünfte Auflage. — **Katechismus der elektrischen Telegraphie.** Von L. Galle. Fünfte, wesentlich vermehrte und verbesserte Auflage, bearbeitet von Dr. K. Ed. Zetzsche. Mit 226 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2. 40

Turnkunst. Fünfte Auflage. — **Katechismus der Turnkunst. Von** Dr. M. Kloss. Fünfte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 104 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2. 50

Digitized by Google

Uhrmacherkunst. Zweite Auflage. — **Katechismus der Uhrmacherkunst.** Anleitung zur Kenntniß, Berechnung, Construction und Behandlung der Uhrwerke jeder Art. Von Friedrich Herrmann. Zweite, vermehrte u. verbess. Auflage. Mit 57 in den Text gedr. Abbild. Mk. 1

Unterricht. Zweite Auflage. — **Katechismus des Unterrichts und der Erziehung.** Von Dr. C. F. Lauckhard. Zweite, verbesserte u. vermehrte Auflage. Mit 40 in den Text gedruckten Abbild. Mk. 1. 20

Versicherungswesen. — **Katechismus des Versicherungswesens.** Von Oscar Lemcke. Mk. 1. 50

Verskunst. Zweite Auflage. — **Katechismus der deutschen Verskunst.** Von Dr. Roderich Benedix. Zweite Auflage. Mk. 1. 20

Völkerrecht. — **Katechismus des Völkerrechts. Mit Rücksicht auf** die Zeit- und Streitfragen des internationalen Rechtes. Von A. Bischof. Mk. 1. 20

Volkswirthschaftslehre. Dritte Auflage. — **Katechismus der Volkswirthschaftslehre.** Ein Unterrichtsbuch in den Anfangsgründen der Wirthschaftslehre. Von Dr. Hugo Schober. Dritte, umgearbeitete und vermehrte Auflage. [In Vorbereitung.

Waarenkunde. Vierte Auflage. — **Katechismus der Waarenkunde. Von** E. Schick. Vierte, von Dr. G. Heppe neu bearbeitete Auflage. Mk. 2. 40

Wechselrecht. Zweite Auflage. — **Katechismus des allgemeinen** deutschen Wechselrechts. Mit besonderer Berücksichtigung der Abweichungen und Zusätze der österreichischen Wechselordnung. Von Karl Arenz. Zweite, vermehrte u. verbesserte Auflage. Mk. 1

Weinbau. Zweite Auflage. — **Katechismus des Weinbaues. Von** Fr. Jac. Dochnahl. Zweite, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 38 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 1. 20

Weltgeschichte. — **Katechismus der Allgemeinen Weltgeschichte. Von** Theodor Flathe. Mit 5 Stammtafeln und einer tabellarischen Uebersicht. Mk. 2. 40

Ziergärtnerei. Vierte Auflage. — **Katechismus der Ziergärtnerei,** oder Belehrung über Anlage, Ausschmückung und Unterhaltung der Gärten, sowie über Blumenzucht. Von H. Jäger. Vierte, vermehrte und verbesserte Auflage. Mit 69 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2

Zoologie. — **Katechismus der Zoologie.** Von Prof. C. G. Giebel. Mit 125 in den Text gedruckten Abbildungen. Mk. 2. 50

Leipzig, Verlag von J. J. Weber.

Digitized by Google

Druck von J. J. Weber in Leipzig.

Digitized by Google

YB 51875

Digitized by Google

Digitized by Google